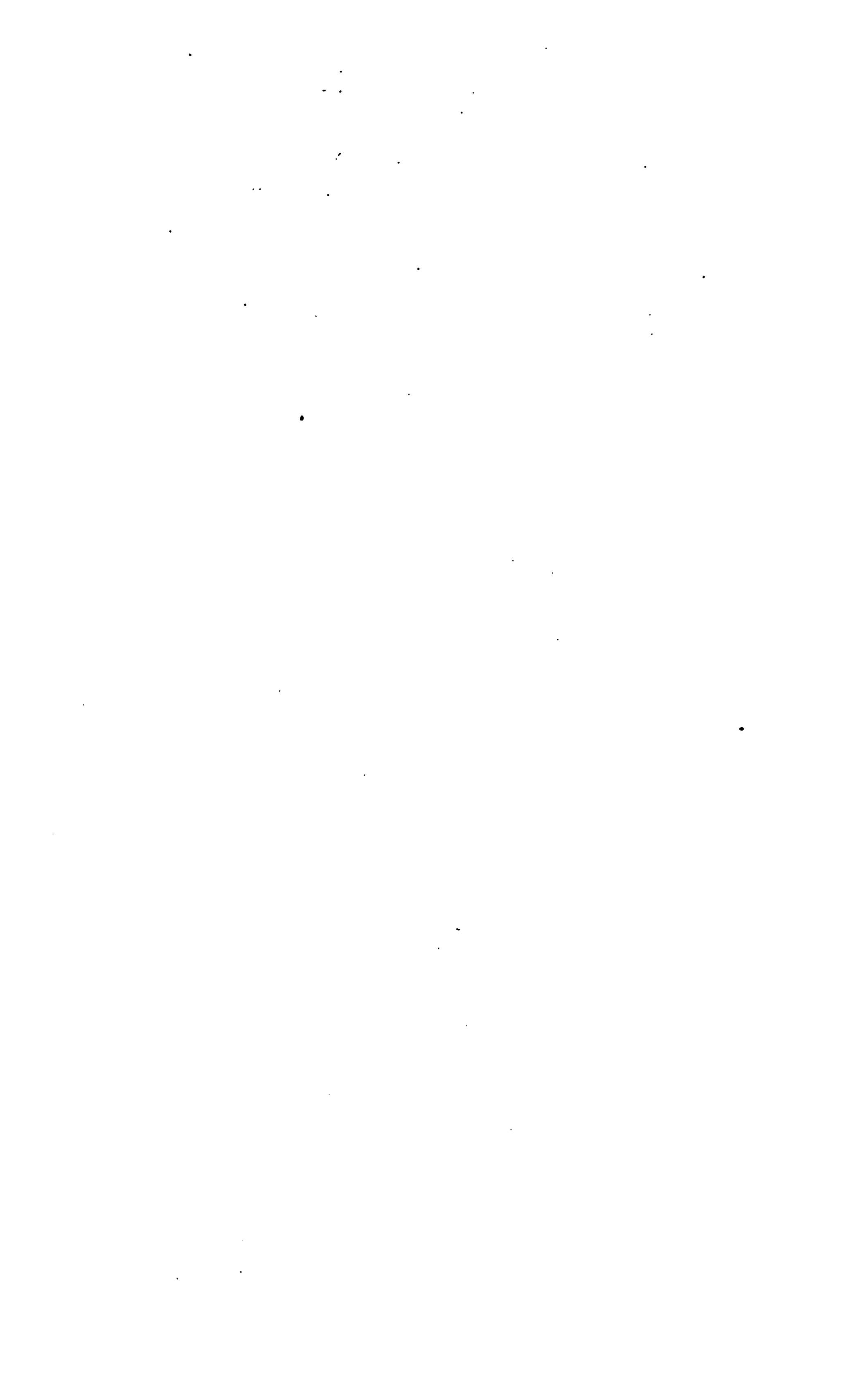








Die moderne Entwicklung

der

elektrischen Principien

Fünf Vorträge

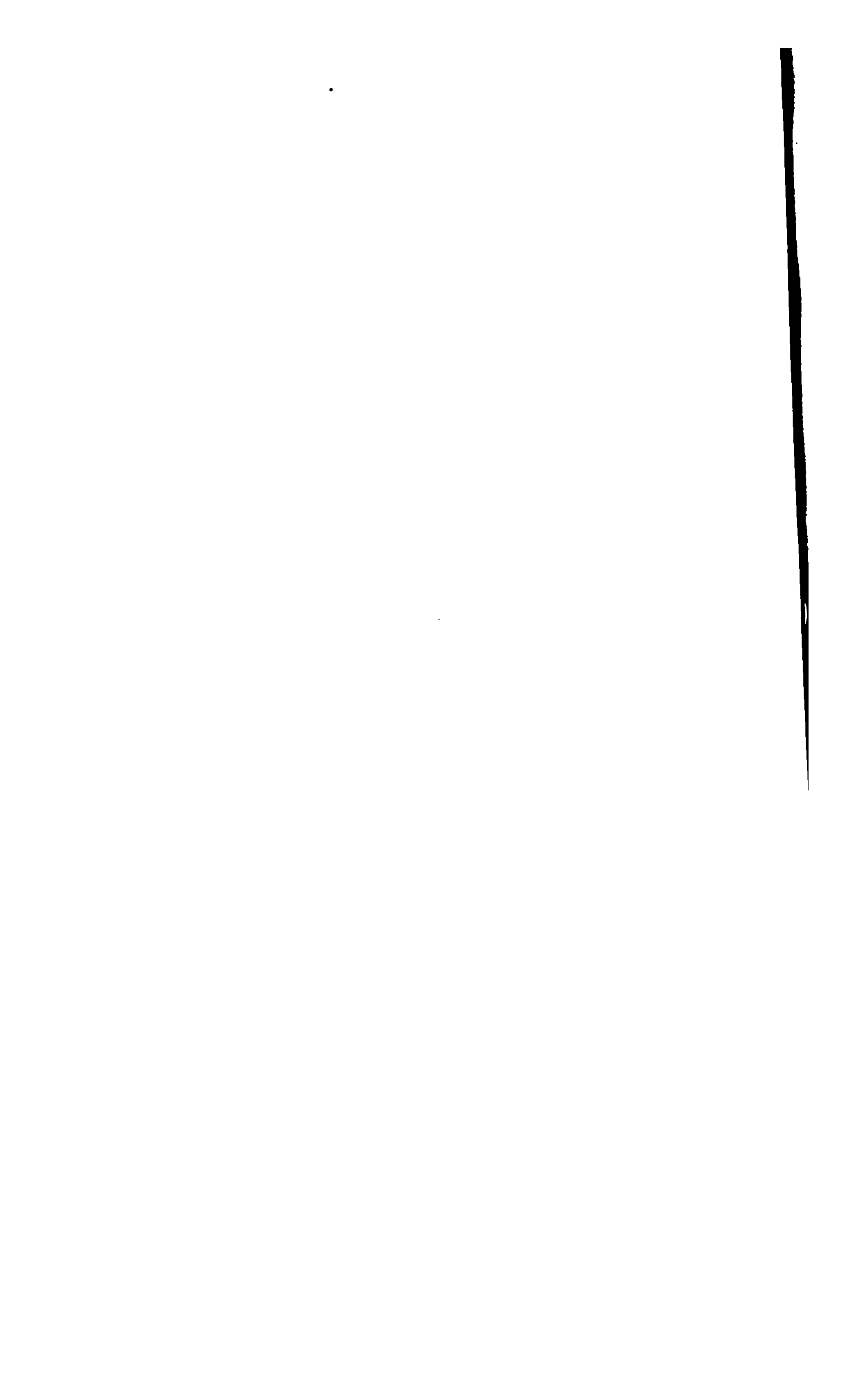
von

Prof. Dr. Ferd. Rosenberger.

> Das Verlangen nach einer mechanischen Erklärung der elektrischen Erscheinungen ist nicht neu, nimmt aber mit jedem Jahre an Intensität zu.
>
> Sir Will. Thomsen (10. Januar [illegible]).



Leipzig
Verlag von Johann Ambrosius Barth
1898.



Die moderne Entwicklung

der

elektrischen Principien

Fünf Vorträge

von

Prof. Dr. Ferd. Rosenberger.

> Das Verlangen nach einer mechanischen Erklärung der elektrischen Erscheinungen ist nicht neu, nimmt aber mit jedem Jahre an Intensität zu.
>
> Sir Will. Thomsen (10. Januar 1889).



Leipzig
Verlag von Johann Ambrosius Barth
1898.

Die moderne Entwicklung

der

elektrischen Principien

Fünf Vorträge

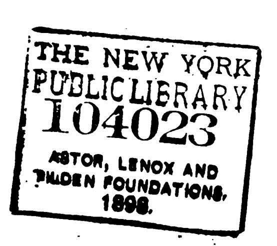
von

Prof. Dr. Ferd. Rosenberger.

Das Verlangen nach einer mechanischen Erklärung der elektrischen Erscheinungen ist nicht neu, nimmt aber mit jedem Jahre an Intensität zu.
Sir Will. Thomsen (10. Januar 1889).



Leipzig
Verlag von Johann Ambrosius Barth
1898.


THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
104023
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS,
1898.

Vorwort.

Die vorliegenden Vorträge, die zur Einführung in die modernen Anschauungen über das Wesen der Elektricität dienen sollten, sind bei Gelegenheit eines physikalischen Ferienkursus für Lehrer an höheren Schulen Ostern 1897 in Frankfurt a. M. gehalten worden. Sie erscheinen hier mehrfach ergänzt und mit wissenschaftlichen Anmerkungen versehen, die den ihnen nothwendiger Weise anhaftenden aphoristischen Charakter wenigstens in etwas ausgleichen möchten. Der leitende Gedanke aber bei der Abfassung der Vorträge war der oft verkannte, doch darum nicht minder richtige Satz, dass entgegengesetzte theoretische Anschauungen in der Wissenschaft nicht nothwendig im Verhältniss von absoluter Wahrheit und absolutem Irrthum zu einander stehen, sondern dass beide vielfach nur verschiedenen nothwendigen Entwicklungsstufen der Wissenschaft entsprechen und dass beide für gewisse Zeiten und Gebiete von gleicher relativer Wahrheit sein können.

Frankfurt a. M., den 30. Mai 1898.

Ferd. Rosenberger.

Inhaltsverzeichniss.

			Seite
	Vorwort	. . . .	III
I.	Vortrag.	Die Theorien der elektrischen Imponderabilien im vorigen Jahrhundert	1
II.	„	Die Theorien der elektrischen Imponderabilien in unserem Jahrhundert	35
III.	„	Faraday und seine Umgestaltung der elektrischen Fundamente	73
IV.	„	Die moderne Gestaltung der elektrischen Theorien . .	103
		Ein Gleichniss	137
V.	„	Die Elektricität und die fundamentalen Grenzbegriffe der Physik	147

I.

Die Theorien der elektrischen Imponderabilien

im vorigen Jahrhundert.



Elektrische Erscheinungen waren schon im griechischen Alterthume bekannt, so lehrt jede Geschichte der Physik mit unzweifelhaft thatsächlichem Recht. Aber wissenschaftlich richtiger noch ist die Behauptung, dass der Begriff der Elektricität nicht älter ist als zwei Jahrhunderte und kaum in seiner Entstehung über das achtzehnte Jahrhundert hinausreicht.

Bis zum Jahre 1600 war man über die Einzelerkenntniss der Anziehungskraft des geriebenen Bernsteins noch nicht hinausgekommen und noch um diese Zeit stellte man diese Kraft des Bernsteins gern mit der Kraft des Magnetsteins zusammen, die beide nur in je einem Stoffe, dem Bernstein und dem Eisen, wirksam seien. Erst um dieses Jahr entdeckte der englische Arzt William Gilbert, dass ausser dem Bernstein noch verschiedene andere Stoffe durch Reiben dieselbe Anziehungskraft, wie der Bernstein, erlangen könnten, und die Bemühungen der Physiker richteten sich dann mehr und mehr darauf, diese Stoffe in möglichster Vollständigkeit aufzufinden. Gilbert hatte die Kraft nach dem griechischen Namen des Bernsteins Vis electrica genannt, und diesen Namen behielt man auch bei, als die Zahl der Stoffe, an denen man die Kraft beobachtete, sehr bedeutend anwuchs. Dabei nahm man das Adjektiv electrica noch ganz in seiner engen wörtlichen Bedeutung, so dass es eben nichts anderes bezeichnete als Bernsteinkraft und vielfach gebrauchte man auch in den verschiedenen Sprachen, wie vor Allem im Englischen, dem entsprechende einheimische Ausdrücke. Das Substantiv Electricitas, das als ein Abstraktum die elektrischen Erscheinungen von dem Einzelbegriff des Bernsteins unabhängiger machte, ist im ganzen siebzehnten Jahrhundert noch nicht anzutreffen; erst zu Anfang des achtzehnten tritt es plötzlich auf, ohne dass eine besondere Ursache für die Bildung dieses Wortes zu entdecken wäre und ohne dass man darunter viel anderes verstanden hätte als unter dem Ausdrucke Vis electrica. Dem entsprechend kann auch von einer eigentlich elektrischen Theorie bis zu dieser Zeit nicht die Rede sein. Die Vis electrica war bis dahin eine Anziehungskraft, wie sie schon vielfach zwischen Körpern beobachtet worden, und unterschied sich nur darin von anderen, dass sie nur in wenigen bestimmten Stoffen und

erst nach dem Reiben derselben merkbar wurde. Die Bernsteinkraft wurde darum auch ganz entsprechend den anderen bekannten Anziehungskräften ohne grosse Schwierigkeit erklärt.

Alle zwischen den Körpern oder Theilen derselben wirkenden Anziehungskräfte leitete man im Alterthum und im Mittelalter aus anerschaffenen Sympathien oder Naturtrieben ab, wenn sie zwischen den gleichen Materien in immer gleicher Weise wirksam waren, oder durch Ausflüsse gewisser in den betreffenden Körpern enthaltener feiner, unsichtbarer Stoffe, wenn die Kräfte zwischen verschiedenen Stoffen nur unter bestimmten Umständen wirksam wurden. Beim Magneten schwankte man wohl zwischen beiden Erklärungsweisen, die Anziehungskräfte des geriebenen Bernsteins aber wurden allgemein auf die letztere Art abgeleitet. Doch blieb dabei die Art, wie die Ausflüsse die ihnen gerade entgegen gerichteten Anziehungen bewirken sollten, immer recht unbestimmt, und jeder originelle Physiker stellte sich die Sache auf andere Weise vor.

Gilbert, der die magnetische Anziehung noch aus einem Vereinigungsbestreben des Eisens mit dem gleich gearteten Magnetstein ableitete, nahm auch bei der Erklärung der Bernsteinkraft durch subtile Ausflüsse doch noch innere Anziehungen in Flüssigkeiten zu Hülfe. Flüssigkeitstheilchen, wie Wassertropfen z. B., fliessen bei der Berührung zu einem Körper zusammen. Durch das Reiben des Bernsteins werden die in ihm enthaltenen sehr feinen, also flüssigen Stoffe herausgepresst, die sich nach allen Seiten von dem Körper aus verbreiten. Treffen dieselben auf andere Körper in der Nähe des Bernsteins, so bilden sie zwischen beiden Flüssigkeitsbrücken und wenn die betreffenden Körper leicht genug sind, werden sie durch die Zusammenziehung der Flüssigkeit mit dem Bernstein vereinigt. Diese Vorstellung liess sich leicht auf alle Körper übertragen, welche gerieben ähnliche Anziehungen wie der Bernstein zeigen. Von den Körpern, bei welchen dies nicht der Fall war, nahm Gilbert an, dass die aus ihnen durch Reiben herausgepressten Ausflüsse nicht fein genug und also nicht flüssiger Natur, sondern viel gröber und mehr erdiger Art seien, so dass die Contractionserscheinungen nicht bei ihnen wie bei Flüssigkeiten stattfinden könnten.

Diese etwas künstliche Construktion fand indessen wenig Beifall und schon Niccolo Cabeo ging in seiner berühmten Schrift Philosophia magnetica von 1629 ganz auf die Art der Erklärung zurück, die Lucrez in seinem Lehrgedicht De rerum natura[1]) von der magnetischen Anziehung gegeben, indem er wie dieser für die magnetische auch für die

[1]) Deutsche Uebersetzung von Binder, 6. Buch, Vers 910 u. ff.

elektrische Anziehung den Luftdruck erklärend zu Hülfe nahm. Die bedeutende Menge sehr feiner leichter Ausflüsse, welche beim Reiben mit geeigneten Stoffen aus elektrisirbaren Körpern herausgepresst werden, treiben danach die Luft, durch welche sie nicht hindurchgehen können und von der sie nicht aufgenommen werden, zuerst von dem Körper nach allen Seiten weg. Sobald aber die hierdurch entstehende Verdichtung eine gewisse Grenze überschritten, kehrt die Luft mit den Ausflüssen in kleinen Wirbeln zurück und nimmt dabei etwa vorhandene leichte Körper mit sich, so dass es aussieht, als ob diese von dem geriebenen Körper angezogen würden. Der Unterschied zwischen elektrisirbaren und nicht elektrisirbaren Körpern konnte dann nur in einem Reichthum oder in einem gänzlichen Mangel an solchen Ausflüssen liegen. Dieser Ansicht schlossen sich in der Folgezeit, wo der Luftdruck eine grosse Rolle zu spielen anfing, die meisten Physiker in Betreff der elektrischen Anziehung an. Auch DESCARTES, dessen Natursystem ja ganz auf die verschiedenartigen Bewegungen verschiedener feiner Materien begründet war, nahm die Grundzüge dieser Anschauungen in seine Principien der Philosophie von 1644 auf und wusste ihnen sogar zu etwas grösserer Bestimmtheit zu verhelfen. Nachdem er dort in sehr geschickter Weise durch feine Ausflüsse des Eisens die eigenthümlichen Anziehungskräfte des Magneten erklärt hat, will er bei dieser Gelegenheit auch noch Einiges über die Anziehung aller kleinen Körper durch den Bernstein, das Erdpech, das Wachs, Harz, Glas und Aehnliches sagen.[1]) Zwar sei es nicht seine Aufgabe, sagt er mit ungewohnter Vorsicht, solche Besonderheiten zu erläutern und es gehöre zur Prüfung obiger Kraft eigentlich eine vorgängige experimentelle Erkundung ihrer Eigenschaften und ihres Wesens, damit man aber nicht auf sein Stillschweigen hin auch anderes Vorhergesagtes in Zweifel ziehe, so wolle er doch Einiges andeuten. Alle Körper, die aus grober Materie, dem DESCARTES'schen dritten Element, bestehen, haben Poren und Gänge in sich, die bei jedem Körper besonders gestaltet und von besonderer Grösse sind. In diesen Gängen bewegen sich Theilchen der feinsten und schnellsten Materie, des DESCARTES'schen ersten Elements, die meistens länglich gestaltet sind und sich darum leicht aneinander heften und, wenn sie länger in einem Körper sich bewegen, zu dünnen, breiten und länglichen Bändern werden, die der Gestalt von dessen Poren entsprechen. Solche Bänder scheinen vor Allem im Glas zu entstehen und scheinen gezwungen im Glas zu verweilen, da entsprechende Gänge in der stets bewegten Luft nicht vorhanden sind. Wird aber das Glas stark gerieben,

[1]) Deutsche Uebersetzung von v. KIRCHMANN, S. 266.

so dass es etwas warm und auch in seinen Poren ausgedehnt wird, so werden augenscheinlich diese Bänder herausgestossen, vertheilen sich gewaltsam in die umgebende Luft und dringen auch in die Gänge anderer hier befindlicher Körper ein. Allein da sie hier doch keine ihnen passende Gänge finden, so kehren sie gleich wieder nach dem Glase zurück und nehmen die kleineren Körper, in deren Gängen sie stecken, mit sich zurück. Gleiches, wie hier vom Glase, wird von den meisten andern elektrischen Körpern gelten. Doch fügt DESCARTES dieser Erklärung gleich noch einmal vorsichtig hinzu, dass er nicht bestreiten wolle, dass in den harzigten Körpern vielleicht auch noch eine andere besondere Ursache der Anziehung bestehen könne. Allein da eine solche Anziehung doch nicht so allgemein sein könne, wie sie thatsächlich in verschiedenen Körpern beobachtet werde, so halte er dieselbe Ursache wie in dem Glase auch in ihnen wirksam.

Auch NEWTON, des DESCARTES' grosser Gegner, der Begründer der modernen Anschauung von der Actio in distans, blieb doch für die elektrischen Erscheinungen der Theorie der Ausflüsse treu und schloss aus dem von ihm erfundenen elektrischen Kugeltanzapparat, dass aus einer geriebenen Glasplatte leichte ätherische Materien abwechselnd ausfliessen und wieder zu ihr zurückkehren müssten, welche bei diesen Bewegungen die zwischen der Tisch- und der Glasplatte hüpfenden Markkügelchen mit sich zu führen vermöchten. Allerdings stammt diese Aeusserung aus dem Jahre 1675, der Zeit seiner grössten Annäherung an die Aethertheorien [1], aber er hat ähnliche Aeusserungen in Bezug auf die elektrischen Anziehungen auch später noch gethan, und seine Schüler haben noch lange Zeit diese Ansicht festgehalten, obgleich sie dabei die magnetischen Kräfte immer als echte primitive Kräfte behandelten und eifrig nach einem Kraftgesetz derselben nach Art des Gravitationsgesetzes suchten.

Die Theorie der Ausflüsse hatte im Allgemeinen ein hohes Alter für sich und auch insofern etwas sehr Bequemes, als sie leicht die Verbindungen zwischen den aufeinanderwirkenden Körpern begreifen liess. Sie wurde darum für den Anfang auch in der Elektrik gern angenommen. Doch war bald an ihr das sehr Unvortheilhafte nicht zu verkennen, dass sie über die Art der Wirkungen der Ausflüsse nichts Genaueres auszusagen vermochte und über die besonderen Arten und Zusammengehörigkeiten der befundenen Naturkräfte nichts weiteres schliessen liess. Dieselbe musste darum speciell für die Vis electrica entweder ganz verlassen oder doch stark modificirt

---

[1] Isaac Newton und seine physikalischen Principien von FERD. ROSENBERGER, Leipzig 1895, S. 104.

werden, sowie sich die Wirkungen der Elektricität mannigfaltiger und ausserhalb des Bereichs blosser mechanischer Kräfte liegend zeigten.

Eine eigenthümliche Stellung nimmt in der Entwicklung der Elektrik unser Magdeburger Bürgermeister OTTO VON GUERICKE ein.[1]) Er geht bei seinen Untersuchungen der Kräfte geriebener Körper, die er im Jahre 1672 veröffentlichte, von durchaus neuen Gesichtspunkten aus; er sucht nicht mehr nach neuen Stoffen, welche die Vis electrica hervorzubringen vermögen, sondern forscht erfolgreich nach neuen Kräften, die sich an geriebenen Körpern zeigen können. Dabei aber gebraucht er für diese Kräfte im Allgemeinen nicht den gebräuchlichen Namen der Vis electrica, sondern bezeichnet dieselben nur, entsprechend dem Namen Bernsteinkraft, als Kräfte der Schwefelkugel, weil er eine solche als Reibkörper ausschliesslich benutzt. Als solche Kräfte entdeckt er sogleich ausser der bekannten Anziehungskraft auch noch eine gleichartige immer mit ihr verbundene Abstossungskraft und findet, dass beide Kräfte in Leinenfäden bis auf ziemliche Entfernung, über eine Elle weit, fortgeleitet werden können. Er findet ferner an der Kugel eine Kraft des Leuchtens und sogar eine Kraft des Tönens, wenn auch das Tönen nur ein Knistern ist. Die Anziehungs- und Abstossungskräfte leitet er noch ganz wie früher aus feinen zarten Ausflüssen der Schwefelkugel ab. Er verwirft zwar dabei, eben weil die Kräfte in Fäden fortzuleiten seien, die Zuhilfenahme der atmosphärischen Luft, giebt aber selbst keine andere genauere Erklärung dieser Wirkungen.

Ueberhaupt begnügt er sich fast gänzlich mit einer blossen Beschreibung seiner neuen Beobachtungen, ohne seine Ansicht über den Zusammenhang der von ihm entdeckten Kräfte der Schwefelkugel auch nur anzudeuten. Es entgeht ihm nicht, dass die geriebene Kugel ausser den Anziehungen und Abstossungen auch im Dunklen ein mattes Licht hervorbringt, ob aber jene Vires electricae mit dem Leuchten irgend welchen ursächlichen Zusammenhang haben oder nicht, darüber spricht er sich in seinem Buche mit keinem Worte aus. Nur in einem Briefe an LEIBNIZ bemerkt er bei einer Anweisung zum Gebrauche der Schwefelkugel, dass dieselbe die elektrischen Kräfte am stärksten und besten zeige, wenn sie so und unter solchen Umständen gerieben sei, dass sie im Dunkeln das stärkste Leuchten hervorbringe, womit wenigstens ein gewisser zeitlicher Zusammenhang zwischen den elektrischen Kräften und dem Leuchten der Kugel constatirt ist.

---

[1]) Ottonis de Guericke Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica. Amstelodami 1672. P. 125—151.

Das Schweigen Guericke's über die theoretische Bedeutung, sowie die seltsame Zusammenstellung seiner neuen Beobachtungen liessen die Physiker vorerst die neuen Wirkungen der elektrischen Kräfte ganz übersehen und bis zum Ende des siebzehnten Jahrhunderts blieb man dabei, dass die Vis electrica nur Anziehungen und Abstossungen bewirke. Erst im Anfange des achtzehnten Jahrhunderts beschäftigte sich Hawksbee, der damalige Curator of Experiments der Royal Society, eingehender mit den Lichtern, welche die elektrischen Erscheinungen immer begleiten, und auch er kam zu diesen Versuchen, wenigstens so wie er es darstellt, nicht in Guericke'scher Art von elektrischen, sondern von optischen Untersuchungen aus, obgleich schon Hooke, der Vorgänger Hawksbee's, in den Sitzungen der Royal Society nachdrücklich auf die elektrischen Arbeiten Guericke's hingewiesen hatte.

In der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts hatte man sich angelegentlichst mit der Untersuchung und Herstellung von Phosphoren, d. h. mineralischen Substanzen beschäftigt, die nach kurzer Belichtung oder Erwärmung im Dunklen selbstthätig Licht ausstrahlten. Zu diesen Phosphorescenzlichtern rechnete man auch das matte Licht, welches sich zeigte, wenn das Quecksilber in der Torricelli'schen Röhre eines Barometers leicht geschüttelt wurde, und man gab demselben den Namen des merkurialischen Phosphors, obgleich dabei weder Belichtung noch Erwärmung sondern nur Bewegung nöthig war.

Hawksbee zeigte, dass man dieses Phosphorescenzlicht auch ohne Barometer hervorrufen könne, wenn man nur Quecksilber im luftleeren Raume sich an Glas reiben lasse. Er fand dann durch sehr zahlreiche und geistreiche Versuche noch weiter, dass auch beim Reiben von Glas und Harz mit den verschiedensten anderen Stoffen im Dunkeln sich immer Lichter zeigten. Ja er entdeckte, dass dabei sogar zweierlei Arten von Lichtern entstehen könnten, je nachdem der Raum, in dem die Lichter sich entwickeln sollten, mit Luft erfüllt blieb oder soviel als möglich luftleer gemacht wurde. Im letzteren Falle entstand das schon bekannte matte Phosphorescenzlicht, während im lufterfüllten Raume das Licht immer blitzartig wurde und in Funken von dem geriebenen Körper nach den Gefässwänden oder wohl auch von diesen auf äussere Körper, wie die genäherte Hand des Experimentators, übersprang.

Dabei war auch nicht zu verkennen, dass bei diesem Reiben immer zugleich mit den Lichtern sich elektrische Abstossungen und Anziehungen oder Bernsteinkräfte zeigten und dass die Intensitäten beider Erscheinungen, wie das schon Guericke in seinem Briefe an Leibniz angedeutet hatte, einander immer proportional waren. Ein zeitlicher Zusammen-

hang wenigstens zwischen der Entstehung der Bernsteinkräfte und der der Lichter schien danach sicher, und HAWKSBEE constatirte denselben auf das Bestimmteste. Wie man diesen Zusammenhang aber physikalisch sich denken und wie man ihn theoretisch erklären sollte, darüber unterliess HAWKSBEE vorsätzlich jede Hypothese.

HAWKSBEE erwartete nicht Geringes von den neu entdeckten Eigenschaften der Elektricität; er machte sogar in der Vorrede zur Sammlung seiner Abhandlungen, die 1709 erschien, auf die Wichtigkeit aufmerksam, welche die von ihm entdeckten elektrischen und Lichterscheinungen für die Erklärung der unwillkürlichen Bewegungen der Thiere erlangen könnten, aber theoretisch mochte er darüber doch nichts Sicheres aussagen.[1]) Er hielt daran fest, dass die elektrischen Kräfte auf Ausflüssen aus den elektrischen Körpern beruhen, und er war als Anhänger NEWTON's fest davon überzeugt, dass auch das Licht nur durch Ausströmungen aus den leuchtenden Körpern sich verbreitet. Ob aber nun die elektrischen und die Lichteffluvien voneinander verschieden oder ob sie identisch sind, ob sie, wenn das Erstere der Fall, beide direct durch Reiben aus geeigneten Körpern ausgetrieben werden, oder ob die durch Reiben erregten elektrischen Ausflüsse nur den Lichtstoff mit sich aus den Körpern reissen, darüber wagte HAWKSBEE keinen Entscheid. Am ehesten scheint er der letzteren Meinung zugeneigt und ihr schliessen sich seine Sätze am besten an; auch liess sich von dieser Meinung aus der Einfluss der Luftverdünnung auf die Art des Lichtes noch am bequemsten erklären.

HAWKSBEE zeigte sich auch in dieser Beziehung als treuer Anhänger NEWTON's, seines Vorgesetzten in der Royal Society, und wie dieser in seiner Optik deutet auch er seine theoretischen Ansichten nur in Fragen, die den betreffenden Abschnitten seines Werkes angehängt sind, an. Spätere Physiker freilich wurden doch allmählich kühner und diese, radikaler vorgehend, identificirten dann ohne Weiteres die Materie der elektrischen Ausflüsse mit dem Lichtstoff. Vor der Hand aber

---

[1]) Physico-Mechanical Experiments on various subjects. Containing an account of several surprizing Phenomena touching Light and Electricity, producible on the Attrition of Bodies ... by F. HAUKSBEE. London 1709. The Preface: ... But the Nature and Laws of Electrical Attractions have not yet been much consider'd by Any: And in the following Observations, 'tis hoped. the Reader may meet which many things, which may be of great Use in discovering some of the wonderful and hitherto unheeded Effects of this strange Property of Bodies. in several of the Observations of Nature; and possibly in Production and Demonstration even of Involuntary Motions in the Parts of Animals; of which very little has yet been wrote intelligibly.

blieben wohl die meisten Physiker bei der Meinung von besonderen Licht- und elektrischen Effluvien, von denen nur die ersteren leicht auch durch die letzteren mit erregt würden. Dieser Ansicht schloss sich auch s'GRAVESANDE in seiner 1720 zuerst erschienenen Einleitung in die NEWTON'sche Physik an und er benutzte dieselbe nicht ungeschickt um etwas weiter in der Erklärung der elektrischen Lichterscheinungen vorwärts zu kommen. Er behandelte demgemäss die gesammte damals bekannte Elektricitätslehre in dem Abschnitt „von dem Feuer" und speciell in dem Kapitel, welches „von dem in die Körper eingeschlossenen Feuer" handelt.[1])

s'GRAVESANDE definirt die Elektricität als diejenige Eigenschaft vieler Körper, wenn sie durch Reiben erwärmt worden sind, andere sehr leichte Körper auf merkbare Entfernungen hin anzuziehen und abzustossen.[2]) Jeder Körper, der elektrisch werden kann, enthält nämlich in sich und um sich eine Atmosphäre aus sehr feinen Theilchen, die beim Reiben des Körpers mit den Körpertheilchen selbst in Schwingungen gerathen und so sehr leichte Körper mit sich nach dem Körper hin und von ihm weg führen. Durch die Thätigkeit dieser Atmosphäre wird auch die Feuermaterie, welche in allen Körpern enthalten, mit aus dem geriebenen Körper herausgetrieben, sodass der ganze Körper leuchtend wird. Dieses Leuchten ist aber nach der verschiedenen Erfüllung des umgebenden Raums mit Luft auch ein verschiedenes, denn augenscheinlich bewegt sich sowohl die Atmosphäre der Körper wie auch die Feuermaterie leichter durch den luftleeren als durch den lufterfüllten Raum. Daher erscheint in einer luftleer gemachten und dann geriebenen Glaskugel leicht das Licht im Innern ehe die Kugel aussen leuchtet, und nur wenn auch die Kugel mit Luft erfüllt ist, scheint das Licht nach aussen auf nahe Körper, wie die Hand, überzugehen.

Auf diese Weise kam man bis gegen das Jahr 1730 in der Erklärung der elektrischen Erscheinung mit der alten Theorie der Ausflüsse aus und erst um diese Zeit, als STEPHEN GRAY[3]) das Strömen der Elektricität in gewissen Körpern, die man bald Conduktoren[4]) nannte, sowie auch den vollstän-

---

[1]) Elemens de Physique... ou Introduction à la Philosophie Newtonienne. Ouvrage traduit du Latin de GUILLAUME JACOB 'sGRAVESANDE. A Leide, 1746. Livre IV. Partie II: Du Feu. Chapitre XI: Du Feu renfermé dans les Corps, où l'on traite de l'Electricité.

[2]) ibid. Pag. 86: L'Electricité est cette propriété qu'ont plusieurs Corps échauffez par le Frottement, d'attirer et de repousser des Corps fort légers, à une Distance sensible.

[3]) New and curious electrical experiments. By Mr. STEPH. GRAY. Philosophical Transactions of the Royal Society no. 417, p. 18, Jan. 1731; Phil. Trans. abridged, vol. VI, part. II, p. 5—17.

[4]) Experiments made before the Royal Society, Febr. 2

digen Uebergang derselben von einem solchen Körper auf einen anderen experimentell mit vollständigem Erfolge nachwies, wurde man gezwungen die Anschauungen von den elektrischen Ausflüssen oder von der elektrischen Atmosphäre eines elektrischen Körpers stärker zu modificiren. Doch auch diese Modification gelang noch auf ziemlich einfache Weise ohne Aufgabe des alten Fundaments. Bis dahin hatte man die subtile Materie, aus der die elektrischen Ausflüsse bestehen sollten, als den einzelnen Körpern untrennbar zugehörig betrachtet und angenommen, dass dieselben nach dem Ausströmen aus einem Körper immer wieder in denselben zurückkehren müssten, durch welche Strömungen eben Anziehungen wie Abstossungen zugleich erklärt wurden. GRAY aber nahm, ohne weitere Ueberlegung und ohne weiteres Aufheben davon zu machen, einfach an, dass diese Ausflüsse oder Atmosphären auch dauernd von einem Körper auf den anderen übergehen könnten, ohne je wieder auf den ersteren zurückzukehren. Damit war freilich die Erklärung der elektrischen Anziehungen und Abstossungen durch entgegengesetzte Strömungen in den elektrischen Atmosphären unmöglich geworden, aber diese Erklärung war jetzt auch nicht mehr nöthig. Die Entwicklung der NEWTON'schen Physik führte von selbst dazu, den verschiedenen Materien ihre Wirkungsfähigkeiten als besondere primitive Kräfte zuzuschreiben und so legte man nun auch den elektrischen Atmosphären die Anziehungs- und Abstossungskräfte ohne weitere Ableitung bei. Ja manchmal vernachlässigte man sogar über der Betrachtung der elektrischen Kraft die elektrische Materie, an welche jene gebunden, fast ganz, und GRAY spricht schon bei seinen Leitungsversuchen öfters von der Fortpflanzung der elektrischen Kraft, ohne die Strömung der Materie dabei zu erwähnen.[1]) Auf der anderen Seite erhielt wieder die elektrische Materie insofern eine wichtigere Stellung, als sie nun nicht mehr an die einzelnen Körper fest gebunden, sondern in denselben und auch ausserhalb derselben beweglich und also von der Körpermaterie gewissermaassen unabhängig geworden war.

Im Allgemeinen merkte man gerade in der Elektrik noch wenig von einer fundamentalen Umwandlung der Vorstellungen

---

1738, by J. T. DESAGULIERS; Phil. Trans. no. 454; Phil. Trans. abr. vol. VIII, p. 422: In the following Account, I call Conductors those Strings, to one End of which the rubbed Tube is applied.

[1]) An einer Stelle der vorher erwähnten Abhandlung GRAY's heisst es (p. 7): I next proceeded to try to what greater distances the electric vertue might be carried. An einer anderen Stelle (Ueberschrift p. 11): (The electric vertue) carried several ways at the same time, and to considerable distances. Dafür steht aber an einer dritten Stelle wieder (p. 13): The electric effluvia carried in a circle, and communicated from one circle to another.

und glaubte noch immer mit der Materie der elektrischen Ausflüsse ganz gut auszureichen. Erst als der erfolgreiche Concurrent STEPHEN GRAY's in Frankreich, CHARLES DU FAY, bei seiner Wiederholung und Weiterführung der GRAY'schen Versuche über die Mittheilung der Elektricität von elektrischen an unelektrische Körper entdeckte und mit grösster experimenteller Sicherheit constatirte, dass nicht alle elektrischen Körper in ihrem Verhalten einander gleich seien, sondern dass man jedenfalls zwei verschiedene Arten von elektrischen Körpern unterscheiden müsse, erst da zeigten sich die grossen Schwierigkeiten der Ausflusstheorie.

DU FAY hatte ebenfalls noch im Anfang der dreissiger Jahre des vorigen Jahrhunderts nach der Art GRAY's leichte, isolirt aufgehängte, leitende Körper mit Elektricitäten von vielen verschiedenen geriebenen Körpern geladen und dann das Verhalten der so geladenen leichten Körper untereinander wie gegen geriebene glashafte oder harzigte Körper vor Allem untersucht. Dadurch war er zu folgenden zwei, ungeheures Aufsehen erregenden, aber doch unanfechtbaren Erfahrungssätzen gekommen[1]: 1. Es giebt zwei besondere und ganz von einander unterschiedene Elektricitäten, nämlich die glashafte und die harzigte, von denen eine jede allein diejenigen Körper anzieht, so von der anderen sind zurückgestossen worden; 2. die elektrischen Körper ziehen allezeit und ohne Unterschied alle diejenigen an, so nicht elektrisch sind und treiben hingegen alle diejenigen zurück, die mit derjenigen von beiden Elektricitäten begabt sind, welche mit der ihrigen von einerlei Art ist.

Man hat danach öfters DU FAY als den Autor der späteren dualistischen Theorie der elektrischen Flüssigkeiten bezeichnet, meist jedoch in einem falschen Sinne. DU FAY's Grundsätze sind reine Inductionen auf Grund seiner Experimente und Erfahrungen. Sie sagen nur, dass geriebene Glas- und Harzkörper ein entgegengesetztes elektrisches Verhalten zeigen; von verschiedenen elektrischen Flüssigkeiten, die einzeln in diesen Stoffen oder gar vereinigt in unelektrischen Körpern vorhanden sein sollten, sagt er selbst noch kein Wort. Darum muss er auch seinen zwei Grundsätzen von der Abstossung gleichnamiger und der Anziehung ungleichnamiger Elektricitäten noch den dritten Satz von der Anziehung der

---

[1]) CAROLI DE CISTERNAI DU FAY, Oberaufsehers des Königl. Kräuter-Gartens zu Paris und Mitgliedes der Königl. Französischen und Englischen Societät der Wissenschaften, Versuche und Abhandlungen von der Elektricität derer Körper, welche er bei der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Paris in denen Jahren 1733 bis 1737 vorgestellt und bei denen Versammlungen derselben abgelesen hat. Aus dem Französischen ins Deutsche übersetzt. Erfurth 1745. S. 229.

unelektrischen Körper durch alle elektrischen anfügen. Du Fay blieb ohne jedes Bedenken bei der Theorie der Ausflüsse und liess sich über eine etwaige Verschiedenheit solcher Ausflüsse bei harzigten oder Glaskörpern mit keinem Worte weiter aus.

Ueberhaupt trat nun schon auch bei den Franzosen gerade wie bei den Engländern die theoretische Hypothese ganz zurück und die erklärende Zusammenfassung der Erscheinungen ist jedenfalls nicht Du Fay's stärkste Seite. So meint er z. B., dass das durch Reiben erweckte elektrische Licht eines Glases doch wohl nicht so genau mit den elektrischen Materien verbunden wäre, dass es nicht für sich selbst fortbestehen könne, auch wenn die Elektricität durch Feuchtigkeit völlig zu nichte gemacht worden sei.[1]) Und die starken Funken, welche er zuerst aus isolirten menschlichen und thierischen Körpern zog, meint er nur durch einen besonderen Dunstkreis erklären zu können, den das lebende Thier wie auch der lebende Mensch um sich her ausstrahle, und der die Feuermaterie, welche aus ihnen herausgelockt werde, erst gleichsam entzünde und in ein wirkliches Feuer verwandle.[2]) Doch wurde diese merkwürdige Meinung fast augenblicklich durch Gray widerlegt, welcher zeigte, dass man elektrische Funken nicht bloss aus lebenden Körpern, sondern ebenso stark auch bei richtiger Veranstaltung aus Metallstangen ziehen könne.[3])

Wie schon bemerkt, hatte die Beobachtung der elektrischen Lichterscheinungen theoretische Zweifel an der geltenden Theorie der elektrischen Ausflüsse noch kaum erregt und erst die Entdeckung Du Fay's von der Verschiedenheit des elektrischen Verhaltens harzigter und glashafter Körper liess das Bedürfniss nach neuen oder wenigstens modificirten Fundamentalanschauungen erwachsen. Diesem Bedürfniss versuchte der berühmte französische Physiker Abbé Nollet vom Jahre 1745 an in mehreren Werken noch einmal, und damit vorläufig zum letzten Male,

---

[1]) Du Fay, Versuche und Abhandlungen von der Elektricität. Deutsche Uebersetzung. Erfurth 1745. S. 216.

[2]) ib. S. 219: „Ein lebendiges Thier, das auf diese Art (d. h. isolirt) ist aufgehängt worden, thut ganz gewiss ebendieselbe Wirkung (wie ein menschlicher Körper); wenn es aber todt ist, so kommen keine Funken mehr zum Vorschein und man bemerkt nur ein blasses Licht von einerlei Gestalt, welches aus diesem Körper herauszukommen scheint, wenn man die Hand nahe daran hält. Der lebendige Körper eines Menschen oder eines Thieres ist demnach mit einem Dunst-Creiss umgeben, dessen Materie vermögend ist, dasjenige Licht, so sich bei der glafshaften Electricität befindet, gleichsam anzuzünden und in ein würkliches Feuer zu verwandeln." Mit harzigten Stoffen hat Du Fay nie Feuer aus einem Körper bekommen, wahrscheinlich aber nur, wie er selbst bemerkt, weil er keine genügend grossen Stücke hatte.

[3]) Philos. Transact. no. 436, p. 16, 28. Jan. 1735; auch Phil. Trans. abridged., vol. VIII, p. 397.

auf Grund einer leichten Umänderung oder weiteren Ausbildung der alten Ausflusstheorien gerecht zu werden. Er stützt seine verbesserte Theorie der Ausflüsse auf folgende achtzehn Sätze, die nach ihm direct von der Erfahrung abgezogen sind [1]: „1. Die Elektricität ist die Wirkung einer flüssigen Materie, die sich innerhalb der elektrischen Körper oder um dieselben herum bewegt. 2. Dieses flüssige Wesen ist weder die eigene Materie des elektrischen Körpers noch die gemeine Luft (l'air grossier), die wir athmen. 3. Wir haben alle Ursache, zu glauben, dass die elektrische Materie mit der des elementarischen Feuers und des Lichts einerlei sei, die mit einer anderen Substanz vereinigt ist, die ihr den Geruch verschafft. 4. Diese Materie ist überall vorhanden, sowohl im Innern der Körper als in der umgebenden Luft. 5. Die erregte oder in Bewegung gesetzte Materie bewegt sich, so viel sie kann, in grader Linie und ihre Bewegung ist im Allgemeinen eine fortgehende Bewegung, welche ihre Theile fortführt. 6. Die elektrische Materie ist subtil genug, um die härtesten und dichtesten Körper zu durchdringen. 7. Aber sie durchdringt nicht alle mit gleicher Leichtigkeit. Die lebenden Körper, Metalle und Wasser durchdringt sie am leichtesten, aber Harz, Schwefel u. s. w. kann sie nur mit mehr Mühe durchdringen, es sei denn, dass diese erwärmt oder gerieben werden. 8. Die Luft ist ebenfalls durch die elektrische Materie, wie die Metalle, durchdringlich. 9. Wenn die elektrische Materie aus einem Körper mit mehr Gewalt geht und sich den Weg in die Luft bahnt, sie mag sichtbar sein oder nicht: so zertheilt sie sich in mehrere zerfahrende Aussprünge oder Springbrunnen, welche eine Art von Büschelchen oder Bürstchen bilden (en plusieurs jets, qui forment une espèce de gerbe ou d'aigrette). 10. Ein durch Reiben oder durch Mittheilung elektrisirter Körper schiesst von allen Seiten Strahlen der elektrischen Materie aus, welche in graden Linien in die Luft oder andere im Raume sich befindliche Körper erstrecken. 11. So lange die Ausflüsse dauern, so lange kommt eine gleiche Materie von allen Seiten her auf den elektrischen Körper in Gestalt convergenter Strahlen. 12. Diese beiden Ströme der elektrischen Materie, die entgegengesetzte Richtungen haben, verrichten ihre Bewegungen zu gleicher Zeit, aber der eine ist stärker als der andere. 13. Die Oeffnungen, durch welche die Elektricität aus dem elektrischen Körper kommt, sind nicht so zahlreich als die, durch welche sie wieder hineingeht. 14. Die Materie, so zu dem elektrisirten Körper kommt, ist ihm nicht

---

[1] Nollet, Leçons de physique experimentale, Amsterdam 1754, t. VI, p. 407—410; auch ins Deutsche übersetzt unter dem Titel „Physikalische Lehrstunden", Erfurt 1766, S. 347—350.

bloss durch die Luft verschafft worden, sondern durch alle anderen Körper in der Nähe, welche durch Mittheilung elektrisch zu werden fähig sind. 15. Die Materie, so aus dem isolirten Conductor (der Elektrisirmaschine) durch die verschiedenen Theile seiner Oberfläche herausgeht, die aber nicht an die Kugel (der Maschine) reichen, kommt doch grösstentheils aus der Kugel und dem Körper, welcher sie reibt. 16. Die Materie, welche von allen Seiten zu dem isolirten Conductor kommt, begiebt sich grösstentheils zu der Kugel und dem Körper, welcher sie reibt, von wo sie in die umgebende Luft oder andere dabei liegende Körper wandert. 17. Die durch Mittheilung elektrisirten Körper verlieren leicht ihre Kraft durch das Berühren eines anderen nicht isolirten Körpers. 18. Das durch Reiben oder durch die Mittheilung elektrisirte Glas entledigt sich seiner Elektricität nicht auf dieselbe Art und kann solche länger erhalten als die gewöhnlichen Conductoren."

Es kann bei näherer Betrachtung nicht entgehen, dass diese Sätze trotz des alten Fundaments doch auch fruchtbare moderne Ideen, wie die des immerwährenden Ausgleichs der elektrischen Materie zwischen dem elektrisirten Körper und seiner Umgebung und der immerwährenden Gleichzeitigkeit entgegengesetzter elektrischer Ströme, enthalten, doch blieb dafür gerade die Erklärung der elektrischen Fundamentalwirkungen nicht ohne erhebliche Schwierigkeiten, und bei den immer entgegengesetzten elektrischen Strömungen wollte wieder das Zustandekommen der elektrischen Anziehungen und Abstossungen nicht recht einleuchten. Nollet gab hierfür die folgende, nicht sehr einfache Erklärung. Leichte Körper nähern sich, so lange sie selbst noch unelektrisch sind, den elektrisirten Körpern, weil die nach dem letzteren von allen Seiten hinströmenden elektrischen Materien in seiner Nähe dichter und darum mächtiger sind, als die von ihm in Büscheln ausgehenden Ströme, die leicht an den in der Nähe befindlichen leichten Körpern vorbeigehen. Ist aber solch ein kleiner Körper durch Mittheilung selbst elektrisch geworden, so vergrössert die von ihm selbst nun ausstrahlende Atmosphäre sehr stark sein Volumen, ohne sein Gewicht zu vermehren, so dass nun die von den beiden elektrischen Körpern ausstrahlenden Büschel jedenfalls aufeinander treffen und die beiden Körper auseinander, d. h. den leichteren von dem grösseren wegtreiben. In beiden Fällen wirken auf die leichten Körper entgegengesetzte Strömungen, aber im ersteren Falle sind die Zuflüsse und im letzteren Falle die Ausflüsse mächtiger, so dass die leichten Körper einmal

den einen und einmal den anderen Strömungen folgen.[1]) Die merkwürdige Verschiedenheit des elektrischen Verhaltens der glashaften und harzigten Körper lässt sich durch zwei Annahmen erklären, die wahrscheinlich beide richtig und wirksam sind. Die Erscheinung, dass ein leichterer, durch harzigte Elektricität elektrisirter Körper von einem elektrischen Glaskörper gar nicht abgestossen, sondern angezogen wird, kann daher rühren, dass die elektrischen Ausflüsse der harzigten Körper viel schwächer sind als die der glashaften, und dass sich also die ersteren den letzteren gegenüber wie unelektrische Körper verhalten. Aber sie kann auch davon herrühren, dass die Ausflüsse der elektrisirten glashaften Körper durch die harzigten, wenn dieselben nur warm genug gerieben werden, mit Leichtigkeit hindurchgehen. Dann kommt die Abstossung der glashaften Ausflüsse hier gar nicht zur Wirkung, während die scheinbare Attraction der Zuflüsse der glashaften Körper leicht die Abstossung der harzigten Ausströmungen überwiegt.[2]) Leichter als die Erklärung der elektrischen Anziehungen und Abstossungen ist natürlich die der elektrischen Lichterscheinungen, da ja NOLLET die elektrische Materie als der Hauptsache nach aus Lichtstoff bestehend annimmt; es hat darum weniger Interesse, diese Erklärungen weiter zu verfolgen.

NOLLET's Theorie fand vor Allem in Frankreich schnellen Eingang und enthusiastische Anhänger, wo derselben allerdings der mächtige persönliche Einfluss und das gewaltige Ansehen ihres berühmten akademischen Urhebers zu Hülfe kam. Indessen konnte der Letztere doch nicht hindern, dass in dem von den Wissenschaften noch kaum berührten Amerika sich eine andere Theorie der seinigen entgegensetzte, deren Autor, ein Buchdrucker und Buchhändler, von dem zünftigen Physiker kaum als ein ebenbürtiger Gegner anerkannt wurde. Und doch errang diese neue Theorie in ziemlich kurzer Zeit einen völlig entscheidenden Sieg, denn was der NOLLET'schen Theorie an Einfachheit, Klarheit und Bestimmtheit abging, das besass gerade die elektrische Hypothese, welche jener Buchhändler, BENJAMIN FRANKLIN, mit seinen Freunden vom Jahre 1747 an entwickelte, in bestechendem Maasse, und trotz allen Fehlens von wissenschaftlichen Ahnen bei dem amerikanischen Quäker muss man doch diesen und nicht den Pariser Akademiker als den ersten Theoretiker moderner Art auf elektrischem Gebiete anerkennen.

FRANKLIN's Theorie[3]) beruht auf den folgenden Sätzen:

---

[1]) Leç. de phys. expér., Amsterd. 1754, t. VI, p. 417.
[2]) Leç. de phys. expér., t. VI, p. 421.
[3]) New experiments and observations on Electricity made at Philadelphia in America, by Mr. BENJAMIN FRANKLIN, and communicated in several Letters to Mr. COLLINSON at London, F. R. S. London

„Durch die ganze körperliche Natur ist eine sehr subtile Materie verbreitet, welche den Grund und die Ursachen aller elektrischen Erscheinungen enthält. Die Theile dieser feinen Materie, welche man nach Belieben Aether, Feuer, Licht u. dergl. m. benennen kann, stossen sich untereinander ab. Sie werden aber von den Theilen der gemeinen Materie, aus welchen die Körper bestehen, stark angezogen. Enthält ein Theil körperlicher Materie so viel von dieser feinen elektrischen Materie, als er einnehmen kann, ohne dass dieselbe auf der Oberfläche mehr als im Innern gehäuft liegen bleibt; so ist er, in Absicht auf die Elektricität, in natürlichem Zustande. Ein mehreres macht ihn positiv oder plus, weniger aber negativ oder minus elektrisch. Alle elektrischen Erscheinungen entstehen durch den Uebergang dieser Materie aus einem Körper in den anderen und die dadurch hervorgebrachte ungleiche Vertheilung derselben in den Körpern."[1])

Die Angemessenheit und Fruchtbarkeit seiner Theorie wusste Franklin selbst von Anfang an in glänzendster Weise zu vertheidigen. Gleich in dem ersten der Briefe (vom 28. Juli 1747), in denen er Nachrichten über seine elektrischen Entdeckungen nach Europa sandte, konnte er die erstaunlichen Wirkungen der zwei Jahre vorher erfundenen Leydener Flasche, die man bis dahin nur angestaunt, aber nicht begriffen hatte und die auch bei Nollet noch unerklärt geblieben waren, nach seiner Theorie in so klarer Weise erläutern, dass diese Erläuterung in den Fundamenten bis heute noch unverändert geblieben ist. Man muss an die Neuheit und Schwierigkeit der Sachen und die bis dahin herrschende Unklarheit in elektrischen Dingen denken, um den Werth der Franklin'schen Erklärungen richtig zu würdigen, zumal Franklin sich dabei bemühte auch die Quantitätsverhältnisse der elektrischen Erscheinungen, zum ersten Male seit ihrer Beobachtung überhaupt, entsprechend zu berücksichtigen. „Wenn man den Draht und den Kopf der Bouteille, so sagt er in jenem Briefe, positiv oder plus elektrisirt; so wird zu gleicher Zeit der Boden (d. h. die äussere Belegung) derselben in gleichem Verhältniss negativ oder minus elektrisirt; d. i. soviel von dem elektrischen Feuer durch den Kopf inwendig hineingebracht wird, eben soviel geht aus dem Boden wieder heraus. Man nehme an: der ganze Vorrath von elektrischer Materie, der sich in jeder Fläche des Glases befindet, ehe noch das Elektrisiren den Anfang genommen hat, betrage zwanzig; bei jedem Striche mit der Elektrisirröhre aber werde ein Theil der elektrischen Materie, den man für Eins annimmt,

---

1751. Des Herrn Benjamin Franklin's Esq. Briefe von der Elektricität. Aus dem Englischen übersetzt, nebst Anmerkungen von J. C. Wilcke. Leipzig 1758.

[1]) Franklin's Briefe von der Elektricität, Vorrede des Uebersetzers.

in dasselbe hineingebracht: so beträgt die Menge von elektrischer Materie im Drahte und dem oberen Theile der Flasche nach dem ersten Striche ein und zwanzig, im Boden hingegen neunzehn. Nach dem zweiten Striche bekömmt der obere Theil zwei und zwanzig, der untere wird aber itzt nur noch achtzehn Theile enthalten. Nach zwanzig Strichen wird endlich die Menge von elektrischer Materie im oberen Theile gleich vierzig, dahingegen der untere gar nichts behält. Und hiemit ist die Arbeit aus, weil in den oberen Theil nicht das geringste mehr hineingebracht werden kann, sobald man aus dem untern ferner nichts heraustreiben kann. Das Gleichgewicht im Glase, kann auf keine Weise durch eine inwendige Verbindung oder Berührung der Theile wieder hergestellet werden: sondern dieses muss durch eine ausserhalb des Glases angebrachte Gemeinschaft zwischen dem Kopfe und dem Boden der Flasche vermittelst eines leitenden Körpers, den man beide Theile zu gleicher Zeit berühren lässt, erhalten werden. Berühret man die Theile hingegen wechselsweise, so erfolget diese Wiederherstellung des Gleichgewichtes nachgerade. Weil nun nach obigem in den obern Theil des Glases weiter nichts hineingebracht werden kann, so bald aus dem Boden alles herausgetrieben ist; so wird auch in eine noch nicht elektrisirte Flasche, durch die Oeffnung nicht das geringste hinein zu bringen seyn, wenn aus dem Boden nichts heraustreten kann. Es zeiget sich dieses, wenn das Glas auf einen für sich elektrischen Körper (d. h. Isolator) hingestellet wird. Wenn hinwiederum das Glas schon elektrisiret ist, so kann bei Berührung des Drahtes nicht das geringste vom elektrischen Feuer aus dem obern Theile herausgezogen werden, woferne nicht zu gleicher Zeit eben so viel durch den Boden wieder hinein gehen kann. Man setze nur die elektrisirte Flasche auf reines Glas oder auf trockenes Pech; so wird man bey Berührung des Drathes das Feuer oben nicht herausbringen können.“

Schon im zweiten Briefe Franklin's vom 1. September 1747 folgt diesem eine ebenso natürliche Theorie der Elektrisation eines Körpers durch Reiben. „Wenn ein Mensch A, so heisst es da, auf Pech steht und das Glasrohr reibt, eine andere ebenfalls auf Pech stehende Person B aber die Funken zieht; so werden beyde, wenn man dieselben sich untereinander nicht berühren lässt, einer dritten C auf dem Boden stehenden (also unelektrischen) Person elektrisch erscheinen. Es wird nämlich diese dritte Person jedesmal einen Funken empfinden, wenn sie sich mit dem Knöchel nach einander jeder der zwei ersten Personen besonders nähert. Diese Erscheinungen suchen wir auf folgende Weise zu erklären. Wir setzen, wie gesagt ist, voraus, dass das elektrische Feuer ein allgemeines Element ist, von welchem eine jede derer drey obengenannten Personen,

ehe die Arbeit mit der Röhre vorgenommen wird, einen gleichen Theil enthält. A, der auf Pech steht, und die Röhre reibt, sammlet das elektrische Feuer aus ihm selber in das Glas. Und weil seine Gemeinschaft mit dem allgemeinen Vorrathe in der Erde durch das Pech abgeschnitten ist; so kann sein Körper nicht unmittelbar wieder erfüllet werden. B, der ebenfalls auf Pech steht und seinen Knöchel nach der Länge der Röhre herunter bewegt, empfängt das Feuer, welches das Glas A gesammelt hatte. Und weil dessen Gemeinschaft mit dem allgemeinen Vorrathe ebenfalls abgeschnitten ist, so behält er den ihm zugelegten und empfangenen Überschuss. Beyde aber müssen dem dritten C, der auf dem Boden steht, elektrisch erscheinen: weil nämlich dieser nur den mittleren Vorrath an elektrischer Materie hat, so bekömmt er bei Annäherung gegen B, welcher einen grösseren Vorrath hat, als er selbst, einen Funken, giebt aber selbst ebenfalls einen Funken an A, weil derselbe weniger hat. Wenn A und B einander berühren, so wird der Funke stärker; weil der Unterschied unter ihnen grösser ist. Nach dieser Berührung erfolgt aber sodann zwischen keinen von Beyden und C ein Funke; weil das elektrische Feuer in allen dreyen schon wieder zu seiner ursprünglichen Gleichheit gebracht ist."

„Das Reiben, so heisst es dann noch im vierten Briefe, eines für sich unelektrischen Körpers (d. i. eines Leiters) gegen einen für sich elektrischen, erwecket das elektrische Feuer; solches wird dadurch aber nicht eigentlich hervorgebracht, sondern nur gesammlet. Dasselbe ist durch unsere Wände, Böden, Erde und durch die ganze Masse gemeiner Materie gleichförmig verbreitet. Die umgedrehte Glaskugel (einer Elektrisiermaschine) zieht hier, während des Reibens gegen das Küssen, das Feuer aus dem Küssen; das Küssen wird aus dem Gestelle der Maschine, und dieses wieder aus dem Boden, worauf dem sie stehet, gefüllt. Man schneide durch dickes Glas oder Pech, welches man unter das Küssen legt, diese Gemeinschaft mit der Erde ab; so kann kein Feuer hervorgebracht werden, weil dasselbe nicht kann gesammelt werden."

In diesem vierten seiner Briefe gab Franklin endlich auch noch auf Grund seiner Hypothese eine Theorie der Gewitter. „Das Weltmeer, sagt er, besteht aus Wasser, einem Leiter, und Salz, einem Nichtleiter. Sobald in demselben unter denen Theilen, welche sich nahe an der Oberfläche befinden, ein Reiben entsteht; so wird das elektrische Feuer aus denen unten liegenden Theilen gesammlet. Bey Nacht wird dieses sichtbar, und erscheint bey dem Hintertheile und in dem Wege eines jeden segelnden Schiffes. Bey Stürmen scheint das ganze Meer in Feuer zu stehen. Die abgerissenen Wassertheilchen nun, welche bey dieser Gelegenheit von der

elektrisirten Oberfläche des Meeres losgerissen werden, führen das Feuer beständig, so bald sich solches gesammlet hat, davon. Sie steigen in die Höhe und machen Wolken, welche alsdann im höchsten Grade elektrisch sind. Die Wassertheile, welche in Dünsten aufsteigen, hängen sich selbst an die Theile der Luft an. Das gemeine Feuer sowohl als das elektrische, theilet denen Wassertheilen eine abstossende Kraft mit, und hindert das Anziehen und den Zusammenhang derselben. Bringen also die Wassertheilchen, wenn sie sich an die Luft anhängen, noch dazu elektrisches Feuer mit; so vereiniget sich das Abstossen der elektrisirten Wassertheile unter sich mit dem natürlichen Abstossen der Luft und entfernet die Theile um desto weiter von einander. Wenn solche Wolken gegen Berge angetrieben werden, so ziehen diese Berge, welche weniger elektrisch sind als die Wolken, dieselben an sich, und rauben ihnen bey der Berührung das elektrische Feuer; ja wenn sie kalt sind, nehmen sie ihnen ebenfalls das gemeine Feuer: die Theile hängen sich daher an den Berg und an einander. Ist die Luft nicht stark geladen, so fallen sie nur im Thau auf die Spitzen und Seiten der Berge herunter, machen Wasserquellen, und laufen in Gestalt kleiner Bäche in die Thäler herab, welche sich endlich vereinigen und grosse Ströme und Flüsse ausmachen. Ist die Luft aber stark geladen, so wird das elektrische Feuer auf einmal aus der ganzen Wolke weggenommen; wobey es sodann, indem das Feuer die Wolke verlässt, heftig blitzet und donnert. Die Theile fallen darauf augenblicklich aus Mangel des Feuers zusammen, und schiessen in einem starken Platzregen herunter."

Die drei skizzirten Haupttheile der Franklin'schen Theorie tragen alle einen grossartigen Charakter und wenn der letzte, die Theorie der Gewitter, sich am wenigsten ausreichend zeigte, so muss man bedenken, dass hier zum ersten Male eine wirkliche Theorie dieser Erscheinung, kaum zwei Jahre nach der Erkenntniss derselben als einer elektrischen, gegeben wurde, und dass es auch bis heute nicht gelungen ist, eine vollständige genügende Theorie zu liefern. Ueberhaupt muss man mit Bewunderung anerkennen, dass das vorige Jahrhundert die so neuen und so heterogenen elektrischen Erscheinungen in so kurzer Zeit, keine zwei Jahrzehnte nach ihrem Bekanntwerden, theoretisch so vollkommen geeinigt und so klar gefasst hat. Besonders bei Franklin darf man constatiren, dass die Kraft seiner theoretischen Anlagen der Energie seines empirischen Talents in vollendeter Weise das Gleichgewicht hielt. Was uns aber am meisten zu einer ausführlicheren Darstellung der Franklin'schen Hypothese gedrängt hat, das ist die Thatsache, dass man in der neuesten Zeit von Seiten der Elektriker auf die Fundamente Franklin's

mehr und mehr wieder zurückgegangen ist und dass uns selbst um so mehr gemeinsame Züge zwischen den FRANKLIN'schen und den modernen Ideen hervortreten, je genauer wir die ersteren kennen lernen.

Trotz aller ihrer Vorzüge gelangte aber die Theorie FRANKLIN's doch nicht ohne Kampf zur Herrschaft. NOLLET und seine Anhänger hielten sich keineswegs ohne Weiteres für besiegt und gedachten durchaus nicht ohne Kampf zu weichen. Sobald um das Jahr 1751 die Briefe FRANKLIN's in Europa gedruckt worden waren, griff NOLLET ebenfalls in Briefen FRANKLIN auf der ganzen Linie an, und die FRANKLIN'schen experimentellen Resultate wurden ebenso kräftig angezweifelt wie seine Schlussfolgerungen als absolut unrichtig negirt. Vor Allem richtete sich der Angriff NOLLET's gegen die FRANKLIN'sche Fundamentalhypothese von dem Strömen der Elektricität nur nach einer Richtung und er behauptete dem gegenüber, dass seine Theorie der überall gleichzeitigen Aus- und Zuflüsse durchaus nicht eine willkürliche Annahme, sondern vielmehr eine durch viele Beobachtungen festgestellte Thatsache sei.[1])

Seine Landsleute, die Franzosen, besonders vertheidigten ihren berühmten Akademiker mit grosser Begeisterung und erblickten in der Bekämpfung seiner Theorie fast einen Beweis von Impietät; aber auch manche Deutsche standen mit unerschütterlicher Ueberzeugung auf seiner Seite. Der Engländer PRIESTLEY hatte sich in seiner Geschichte der Elektricität bei der Schilderung des gegenwärtigen Zustandes der Elektricität natürlich ganz an den Amerikaner FRANKLIN angeschlossen; Dr. KRÜNITZ in Berlin aber vertheidigte dem gegenüber in zahlreichen Anmerkungen zu einer Uebersetzung dieses Werkes die NOLLET'sche Theorie mit Fanatismus. „Die Theorie, nicht die Hypothese, des Herrn Abt NOLLET, sagt er z. B.[2]),

---

[1]) Auch NOLLET wollte, wie NEWTON und seine Nachfolger, die Deduktionen seiner Theorie scharf von der empirischen Grundlage derselben trennen. Ce que je sais (heisst es in seinen Leçons de physique expérimentale, Amsterdam 1765, t. VI, p. 406) touchant le mécanisme de la vertu électrique, je le tiens de l'expérience; je me servirai de la même voie pour l'enseigner: je vais retracer en lettres italiques ce que j'ai prouvé dans les deux Sections précédents, relativement aux causes les plus générales des phénomènes; et dans le cours de mes explications, je distinguerai, par ce même caractère, ce que j'emprunterai de ces vérités prouvées, afin qu'on puisse distinguer du premier coup d'ocil ce qui gît en fait, de ce qui n'est que de raisonnement, et regler sa confiance suivant l'un ou l'autre.

[2]) Herrn Joseph Priestley's Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektricität. Nach der 2. vermehrten und verbesserten Ausgabe aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen begleitet von Dr. JOH. GEORG KRÜNITZ. Berlin und Stralsund 1772. S. 298, Anmerkung 1.

indem auch er die von NEWTON zuerst betonte Unterscheidung von Theorie und Hypothese zu Gunsten seines Helden benutzt, ist in der That die einzige wahre, die einzige auf Erfahrung sich gründende, die einzige auf hinlänglich bestätigten, auf tausend und aber tausendmal wiederholten und allemahl unveränderlichen Begebenheiten beruhende. Es ist daher gar nicht zu verwundern, dass dieser Physiker in seinem letzten Werke ein noch ebenso eifriger Anhänger davon ist, wie er es allemahl gewesen. Können wohl die Urheber anderer Theorien dieses von den ihrigen ebenfalls behaupten? Die ihrigen sind viel zu früh entstanden; sie haben erst nachher die Versuche mit denen Systemen, welche sie erfunden hatten, übereinstimmend zu machen gesuchet. Man lese ihre Werke, so wird man sehen, wie sie alle Augenblicke neue Sätze anzunehmen genöthigt sind, um von denen Widersprüchen, die sich in denen Begebenheiten finden, einen Grund anzugeben. Noch mehr; diese Systeme sind zum öfteren von ihren Urhebern ganz und gar verändert worden; zu einem Beweise, dass sie schlecht abgefasst gewesen. Die Theorie des Herrn NOLLET hingegen ist niemals abgeändert worden; sie ist noch ebenso, wie sie immer gewesen ist; es ist nicht das Geringste darinn verändert worden, weil die Begebenheiten, worauf sie gegründet ist, beständig sind."

Uebrigens zeigen PRIESTLEY und sein Uebersetzer KRÜNITZ ganz denselben gleichartigen, nur entgegengesetzt gerichteten Subjectivismus und Scholasticismus; jeder rühmt seinen Helden, der eine FRANKLIN und der andere NOLLET, in gleicher Ueberschätzung und spricht von seinem Gegner mit der gleichen Nichtachtung. PRIESTLEY behauptet in seiner Geschichte der Elektricität: „Die englischen Naturforscher, und vielleicht auch der grösste Theil der Ausländer, haben gegenwärtig insgesammt die Theorie der positiven und negativen Elektricität (die Theorie FRANKLIN's) angenommen." KRÜNITZ aber sagt in einer Anmerkung (Geschichte der Elektricität, S. 300, Anm. g) dazu: „Diese Worte muss Herr PRIESTLEY in seinen Papieren durchstreichen. Der grösste Theil der ausländischen Naturforscher hat die Theorie der positiven und negativen Elektricität nicht angenommen; vielmehr treten fast alle der Lehrmeinung des Herrn ABT NOLLET von den gleichzeitigen Zu- und Ausflüssen bei, wie aus ihren Schriften zu ersehen ist." „Die Lehre des Herrn FRANKLIN, sagt PRIESTLEY dann noch an einem anderen Orte, ist (auch) in Frankreich so wohl aufgenommen worden, dass sie der . . . von der französischen Akademie der Wissenschaften für souverain erklärten Hypothese des Herrn NOLLET allem Anscheine nach in ihrer Herrschaft gefolget ist. Herr NOLLET eifert recht ernsthaft hiergegen und suchet den Herrn FRANKLIN von der Falschheit der Schlüsse desselben und der Richtigkeit

seiner eignen Hypothese zu überzeugen . . . : Er sieht es für eine ausgemachte Sache an, dass Herr FRANKLIN seine Versuche weder recht anstellet, noch recht beschrieben, noch recht verstanden, noch recht erkläret habe. Ja er giebt ihm endlich den wohlmeinenden Rath, dass er die Gutheit haben sollte, seine eigenen Versuche von neuem anzustellen, die Versuche des Herrn NOLLET's strenge zu untersuchen, und die Wahrheit, welche hartnäckige Leute mit der Ungewissheit der Erfahrungen bedecken wollten, an's Licht zu bringen. Ich bin versichert, Herr FRANKLIN werde nichts verlieren, wenn er alles dies thäte. Die Versuche des Herrn NOLLET's sind auch richtig: sie haben aber gar nicht die Kraft, welche Herr NOLLET ihnen zutraut; weil sie ehe als so viele Beweise für die Theorie Herrn FRANKLIN's können angesehen werden, als für Widerlegungen derselben." KRÜNITZ aber ist wieder direkt vom Gegentheil überzeugt und drückt das in den Worten aus: „Es wird auch diese Theorie des Herrn NOLLET anjetzt fast durchgängig von allen Naturforschern angenommen; ja ich möchte sogar sagen: von allen (blos die meisten unter den Engländern ausgenommen, welche aus Achtung für ihre Nation, sich zur Lehre des Herrn Dr. FRANKLIN bekennen), wenn es nicht noch drey oder vier Elektrisirer gäbe, welche, ungeachtet man sie ihres Irrthums überführet hat, doch so eigensinnig sind, ihre Meynung nicht fahren lassen."

Wo ganz entgegengesetzte Hypothesen, welche auf Grund ganz gleicher Erfahrungen aufgebaut sind, von verschiedenen Parteien in der Wissenschaft mit gleichem Eifer wechselseitig bejaht und verneint werden, da darf man meist auf tiefer gehende metaphysische Differenzen in den Meinungen schliessen, und dieser Schluss scheint auch in Bezug auf den Kampf der Franklinianer und Nolletianer richtig zu sein. Die NOLLET'sche Hypothese zeigte noch deutlich den Cartesianischen Charakter[1]); sie hielt sich noch ganz an die

[1]) NOLLET leitet seine Theorie der Elektricität mit den hierfür sehr bezeichnenden Worten ein (Leçons de phys. exp., T. VI, p. 403): L'Electricité est l'effet d'une cause mécanique: il n'y a plus qu'un sentiment sur cela aujourd'hui . . . Mais ce mécanisme, objet de la curiosité de ceux qui voient les phénomènes et principalement des Physiciens qui les ont découverts, est encore regardé et annoncé par bien des gens, comme une mystère impénétrable à l'esprit humain. Ce n'est pas cependant que ce qu'il y a de plus singulier et de plus important dans cette matière, ne puisse maintenant s'expliquer d'une manière tres-intelligible et vraisemblable: à force d'analyser les faits, d'examiner ce qu'ils ont de commun et de particulier, en allant des plus composés aux plus simples, nous sommes enfin parvenus à celui qui est comme la source de tous les autres; et sur les causes de celui-ci même, nous sommes en état d'offrir des conjectures raisonables et fondées sur des analogies très-rapprochées: voila, je crois tout ce qu'on peut attendre et exiger de la Physique Expérimentale. Mais e plupart de personnes à qui nous offrons ces explications, quoiqu'elles les

Die FRANKLIN'sche Hypothese wurde denn auch in dieser Zeit durch die Entdeckung einer anderen elektrischen Erscheinung noch besonders begünstigt, nämlich die der elektrischen Influenz, deren Gesetze die beiden deutschen Elektriker J. C. WILKE und F. U. Th. AEPINUS um das Jahr 1760 feststellten. Dass ein unelektrischer Körper in der Nähe eines elektrischen selbst elektrisch werde, das hatten schon ältere Physiker, wie GRAY, DU FAY, NOLLET und vielleicht auch schon GUERICKE mit Sicherheit beobachtet. Man erklärte das durch das Heraustreten der elektrischen Ausflüsse aus dem elektrisirten Körper auf eine gewisse Entfernung hin und sprach danach von einer elektrischen Atmosphäre, in die der einem elektrischen Körper genäherte unelektrische Körper eintauche, und durch welche er dann selbst elektrische Eigenschaften erhalte. Das war so lange natürlich und gut, als man die beiden Arten entgegengesetzt elektrisirter Körper noch nicht unterscheiden gelernt und noch nicht erkannt hatte, dass der unelektrische Körper in der Atmosphäre eines positiv elektrischen Körpers auch negativ elektrisirt werde, und dass er diese entgegengesetzte Elektricität nach einer Berührung in dieser Atmosphäre auch ausserhalb des Einflusses des elektrischen Körpers noch beibehalte. Diese nach der alten Theorie nicht zu entwirrende Erscheinung forderte zu ihrer Erklärung unwiderstehlich die Annahme, dass jede der beiden Elektricitätsarten in allen leitenden Körpern ohne jede directe Mittheilung von Elektricität durch blosse Annäherung eines elektrischen Körpers hervorgerufen werden könne, und dass also auch in jedem unelektrischen Körper die Wesenheiten beider Elektricitäten immer vorhanden sein müssten.

AEPINUS spricht in seiner Abhandlung „von der Aehnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kraft" (aus dem Lateinischen übersetzt, Grätz 1771, S. 20—21) den Gedanken von der immerwährenden Coexistenz der beiden Elektricitäten in ganz moderner (FARADAY'scher) Form aus. „Man kann es, sagt er, allezeit sehr leicht erhalten, dass ein Körper beiderley Art der Elektricität zugleich bekomme. Man nehme eine dünne und kleine Platte, von was für Materie sie auch sey, wenn dieselbe nur für sich elektrisch (d. h. ein Nichtleiter) ist, und reibe dieselbe auf der einen Seite mit einem wollenen Tuche, auf die andere aber setze man während des Reibens den Finger auf; wenn man sie alsdann untersuchet, wird man jede Seite der Platte elektrisch befinden, davon die eine positiv, die andre aber negativ seyn wird. Es ist endlich noch ein Weg übrig, eben dieses, wiewol noch auf eine andre Art, bewerkstelligen zu können. Man hänge einen metallnen Körper, der die Gestalt eines Prismas

hat, an seidenen Schnüren auf, oder lege ihn auf gläserne Stützen; an das eine Ende desselben bringe man einen Cylinder von Glas oder von Schwefel, der durch Reiben elektrisirt worden ist, und halte ihn in der Entfernung von einem oder zween Zollen unbeweglich; und alsdann wird man auch wahrnehmen, dass der ganze Körper elektrisch ist, dass er aber auf der einen Seite die positive, auf der andern die negative Elektricität erhalten hat... Wenn es erlaubt ist zween Körper, die einander sehr nahe berühren, für einen einzigen anzusehen, so wird man unzählige dergleichen Exempel aufweisen können; denn nach der die eine Art der Elektricität in einem Körper entstehen könne, wenn nicht zugleich, entweder in diesem Körper selbst, oder in einem andern die gegenseitige Art der Elektricität hervorgebracht wird. Denn wenn man irgendwo die natürliche Menge der elektrischen flüssigen Materie vermehren soll, so muss sie an einem andern Orte verringert werden; und wenn man sie an einem Orte verringern soll, so muss man sie an dem andern vermehren.“

Nach der Theorie FRANKLIN's liessen sich alle diese Erscheinungen sehr leicht erklären, ja sie wurden geradezu von ihr gefordert, denn wo ein Ueberschuss von Elektricität an einem Orte entstehen sollte, musste nach ihr auch an einem anderen Orte ein Mangel an derselben eintreten und umgekehrt. Brachte man also einen unelektrischen (d. h. normal elektrischen) Körper in die Nähe eines positiv elektrisirten, so musste dieser nothwendiger Weise durch seine überschüssige Elektricität eine entsprechende Menge an Elektricität in jenem abstossen und wegtreiben. Der unelektrische Körper musste also in der Nähe eines elektrischen auf der einen Seite einen Mangel, auf der anderen einen Ueberschuss und nach der Ableitung dieses Ueberschusses auch nach dem Entfernen des elektrischen Körpers noch einen Mangel oder negative Elektricität zeigen. Die Theorie NOLLET's dagegen stand diesen neuen Erscheinungen recht ungünstig gegenüber; sie konnte mit ihrer Annahme der elektrischen Atmosphären wohl das Elektrischwerden eines unelektrischen Körpers in der Nähe eines elektrischen im Allgemeinen, aber durchaus nicht die dabei beobachtete Erzeugung der entgegengesetzten Elektricität erklären. Doch schien die NOLLET'sche Annahme der simultanen entgegengesetzten elektrischen Strömungen so vielfach verificirt und auch der Beobachtung entgegengesetzt elektrisirter Körper so gut entsprechend, dass man besonders in Frankreich und Deutschland dieselbe trotz ihres Ungenügens gegenüber den Influenzerscheinungen nicht durch die FRANKLIN'sche Theorie ersetzen mochte und sie erst fallen liess, als eine neue Theorie wenigstens zwei solcher FRANKLIN'schen elektrischen Materien annahm, die in Bewegungen und Wirkungen entgegengesetzt sein sollten.

Zu einer solchen Modificirung der Franklin'schen Theorie drängte allerdings noch ein anderer Grund, nämlich eine principielle Schwäche in ihren Fundamenten, eine theoretische Schwierigkeit in der Vorstellung der wirkenden Kräfte, die auch die sichersten Newtonianer nicht zu leugnen vermochten. Diese Schwierigkeit lag in der Erklärung der Abstossung, welche zwei negativ-elektrische Körper ebenso wie zwei positive zeigten. Bei einem Ueberfluss an elektrischer Materie stossen sich zwei benachbarte Körper ab, bei einem normalen Gehalt an Elektricität wirken sie nicht aufeinander, jedenfalls weil im ersteren Falle die innere Abstossungskraft der elektrischen Materie die innere Anziehung der gemeinen Körpermaterie und die gegenseitige Anziehung beider Arten von Materie überwiegt und weil im zweiten Falle diese Kräfte sich das Gleichgewicht halten. Danach sollte es scheinen, als ob negativ elektrische Körper sich noch mehr als elektrische und unelektrische untereinander anziehen müssten. Die gegentheilige Erfahrung weist auf die Existenz noch anderer abstossender Kräfte als die der elektrischen Materie hin, und diese Repulsion kann aus Mangel an besserem nur in der gemeinen Körpermaterie gesucht werden. Damit aber erhält diese Materie zwei anerschaffene entgegengesetzte Kräfte, die Newton'sche Attraktion und die Franklin'sche Repulsion, die sich doch in ihr selbst nicht ausgleichen dürfen. Und da nach Newton'schen Anschauungen alle primitiven Kräfte nicht sowohl der Materie als Ganzes als vielmehr ihren kleinsten Theilchen eigen sind, und da diese Theilchen zuletzt keine andere Wesenheit als eben diese Kräfte haben, so war dabei nicht einmal irgend ein Grund für die Hinderung dieses Ausgleichs anzugeben. Man hat darum, wie Boscowich um das Jahr 1760 es schon gethan[1]), mehrfach versucht, die beiden entgegengesetzten Kraftwirkungen nicht der Materie im selben Orte und gleichzeitig, sondern nur so zuzuschreiben, dass die Kraftwirkung, mit der wachsenden Entfernung von der wirkenden Materie ebenfalls wachsend oder auch abnehmend, ein oder mehrere Male von einer Attraction zu einer Repulsion übergeht, und mehrere neuere Anhänger der Franklin'schen Theorie, wie Faraday[3]) und William Thomson[3]), haben deshalb sich den Anschauungen

---

[1]) Roger Joseph Boscowich, Philosophiae naturalis Theoria redacta ad unicam legem virium in natura existentium, Wien 1759. Vergl. Rosenberger, Geschichte der Physik, II. Theil, S. 331.

[2]) Faraday, Eine speculative Betrachtung über elektrische Leitung und über die Natur der Materie, Philosophical Magazine 1844, vol. XXIV, p. 136; wieder abgedruckt in Experimental-Untersuchungen über Elektricität; deutsche Uebersetzung von Kalischer, Berlin 1890, II. Band, p. 255.

[3]) Thomson, Molecular constitution of Matter; aus Proceedings of the Royal Society of Edinburgh (Read July 7 and 15, 1889) abgedruckt in Mathematical and Physical Papers, London

des Boscowich zugeneigt. Doch aber fand man es meist und besonders im vorigen Jahrhunderte richtiger, die gewöhnliche Materie von elektrischen Kräften ganz zu entlasten und die elektrischen Anziehungen und Abstossungen nicht einer, sondern zwei elektrischen Flüssigkeiten zuzuschreiben.

Eine dementsprechende Theorie gab bald nach dem Bekanntwerden der Franklin'schen Hypothese Robert Symmer, wieder ein sonst ganz unbekanntes Mitglied der Royal Society, dessen Abhandlungen alle in den Philosophical Transactions vom Jahre 1759 gedruckt sind. Wie schon bemerkt, hat man Unrecht, diese Theorie Symmer's in ihren Grundzügen auf Du Fay zurückführen zu wollen. Der Letztere constatirte weiter nichts, als dass harzigte und glashafte Körper nicht gleichartig, sondern in Bezug auf ihre Kräfte entgegengesetzt elektrisch werden. Symmer aber nahm in allen Stoffen von Natur aus auch ohne elektrische Erregung zwei entgegengesetzte elektrische Principien oder Flüssigkeiten an, die sich nur in gleichen Mengen gegenseitig neutralisirten und in ihren Wirkungen aufhoben, und die in diesem gebundenen Zustande den Körpern eben den Anschein unelektrischer Körper gaben.[1]) Du Fay theilte nur die Körper selbst nach ihrem elektrischen Verhalten in zwei Klassen, Symmer aber nahm zwei von der gewöhnlichen Körpermaterie unabhängige elektrische Flüssigkeiten mit entgegengesetzten Kräften an.

Merkwürdig ist es, auf welche dilettantische Art Symmer zu seinen Ideen kam. Er bemerkte[2]), dass seine seidenen Strümpfe beim Ausziehen elektrisch wurden, und zwar schwarze und weisse entgegengesetzt, die weissen nämlich positiv, die schwarzen aber negativ. Hatte er einen schwarzen und einen weissen Strumpf übereinander gezogen, so zeigten dieselben nach dem Ausziehen, so lange sie vereinigt waren, absolut keine Elektrizität; wurden sie aber, was nicht ohne ziemlichen Widerstand geschehen konnte, voneinander getrennt, so erschienen beide Strümpfe stark elektrisch, ja manchmal so

---

1890, vol. III, p. 395. Faraday hält sich in seiner Abhandlung mehr an die Anschauung der Atome als blosser Kraftcentren, während Thomson vor Allem die Darstellung einer einzigen, nur mit der Entfernung wandelbaren Kraft behandelt.

[1]) Phil. Trans. for 1759, T. LI, Pt. I, p. 340: Of the Electricity of the human Body and the animal Substances, Silk und Wool; gelesen am 1. Februar 1759. Die Eingangsworte lauten: I had for some time observed that upon pulling off my stockings in an evening they frequently made a crackling and snapping noise and in the dark I could perceive they too emit sparks of fire. I made no doubt that this proceeded from a principle of electricity; and I was confirmed in this opinion, by observing that, in weather favourable for electrical experiments, those appearances were more remarkable than at other times.

[2]) Phil. Trans., T. LI, Pt. I, p. 348: New Experiments and Observations concerning Electricity. Gelesen am 17. Mai 1759.

stark, dass sie Funken gaben. Schwarze und weisse Strümpfe aus Wolle ergaben gleiche Resultate.

SYMMER nahm sich danach vor, diese interessanten elektrischen Erscheinungen genauer zu untersuchen. Er sah dabei, dass man, um gute Erfolge zu erhalten, die Strümpfe nicht immer an- und auszuziehen brauche, sondern dass auch schon ein Reiben derselben mit der Hand genüge, doch behielt er für einzelne Versuche auch noch das An- und Ausziehen bei. Seine Beobachtungen waren dann wirklich noch erstaunlicher als vorher.

Beide Strümpfe blieben, wenn sie nach dem Ausziehen in einiger Entfernung getrennt voneinander festgehalten wurden, dermassen aufgeblasen, dass sie die ganze Gestalt des Beines noch längere Zeit beibehielten; und wenn zwei schwarze oder zwei weisse Strümpfe einander nahe gebracht wurden, stiessen sie sich so stark ab, dass sie dem Augenschein nach einen Winkel von dreysig oder fünf und dreysig Grad mit einander bildeten. Wurden aber ein schwarzer und ein weisser Strumpf gegeneinander gehalten, so zogen sie sich gegenseitig an und fuhren sogar, wenn man es zuliess, mit einer erstaunlichen Gewalt gegeneinander. Bei ihrer Annäherung fiel das Aufgeblasene allmählich zusammen und ihr Anziehen fremder Gegenstände wurde schwächer, ihr Anziehen untereinander hingegen stärker. Wenn sie wirklich zusammen kamen, wurden sie platt und lagen so dicht aneinander, wie zusammengelegte Seide. Wurden sie voneinander gesondert, so schien ihre Elektricität durch die Zusammenkunft nicht im Geringsten geschwächt worden zu seyn, denn man sah sie abermahls, wie zuvor, sich aufblasen, anziehen, zurückstossen, und mit Macht gegeneinander fahren.

In einer dritten Abhandlung [1]) versuchte SYMMER auch die Kraft, mit welcher seine Strümpfe sich anzogen oder abstiessen, sogar zu messen; dann aber ging er in einer vierten [2]) dazu über, seine Theorie der Erscheinungen in kurzen Zügen anzudeuten. Meine Meinung ist, so sagt er [3]), dass die Wir-

---

[1]) Phil. Trans., T. LI, Pt. I, 1759, p. 359: Of Electrical Cohesian. Gelesen am 21. Juni 1759.

[2]) Phil. Trans., T. LI, Pt. I, 1759, p. 371: Of Two distinct Powers in Electricity.

[3]) ib.: My notion is, that the operations of Electricity do not depend upon one single positive power, according to the opinion generally received; but upon two distinct, positive and active powers, which, by contrasting and, as it were, counteracting each other, produce the various phenomena of electricity; and that not, when a body is said to be positively electrified, it is simply that it is possessed of a larger share of electric matter than in a natural state; nor, when, it is said, to be negativly electrified, of a less; but that in the former case, it is possessed of a larger portion of one

kungen der Elektricität nicht, wie man allgemein annimmt, von einer einzigen positiven Kraft, sondern dass sie von zwei verschiedenen, positiven und wirksamen Kräften abhängen, welche durch ihre Wechselwirkungen die mannigfaltigen elektrischen Erscheinungen hervorbringen. Ein Körper ist also nicht positiv elektrisch, weil er eine grössere Menge Elektricität besitzt als im gewöhnlichen Zustande, und nicht negativ, weil diese Menge geringer ist; sondern er ist das erstere, weil er eine grössere Menge der einen dieser positiven Kräfte, und ist das letztere, weil er eine grössere Menge der anderen entgegengesetzten Kraft besitzt; während bei einem Körper im unelektrischen Zustande die beiden Kräfte sich in ihm das Gleichgewicht halten.

Symmer führt seine Theorie nicht weiter als in diesen paar Sätzen aus, um dann direct zu experimentellen Beweisen für die reale Existenz seiner zwei elektrischen Flüssigkeiten überzugehen, die vor allem darauf hinauslaufen, dass nach dem Durchschlagen des elektrischen Funkens durch dünne Blätter von Papier, Metall u. s. w. die Ränder der Durchgangsöffnung sich immer nach beiden Seiten umgebogen zeigen. Für diese entscheidenden Experimente leistete ihm sein theoretischer Concurrent Franklin durch Rathschläge, sowie auch durch Ueberlassen nothwendiger Apparate die uneigennützigsten Dienste, was Symmer ausdrücklich mit den Worten anerkennt: We differed in opinon with regard to the point in question; nevertheless I found him ready to give me all assistance in his power, for bringing the question to a fair decision.

Auch mit Nollet setzte sich Symmer noch in seiner letzten Abhandlung auseinander. „Was M. Nollet, so sagt er[1]), in Bezug auf die beiden entgegengesetzten Strömungen der Elektricität bemerkt hat, ist mit den Principien der beiden einander entgegengesetzt wirkenden Kräfte keineswegs unvereinbar. Im Gegentheil ist die Existenz von zwei solchen Strömen nach meiner Meinung eine nothwendige Folge der Wirkung jener Kräfte zwischen zwei Körpern . . . Doch aber findet eine andere wesentlichere Differenz zwischen unsern Ansichten statt. Er hält jene entgegengesetzten Strömungen nur für Strömungen einer und derselben Flüssigkeit; er nimmt nur eine Art von Elektricität an und behauptet, dass zwei Körper nur insofern verschieden elektrisirt sein können, als sie mehr oder weniger elektrisch gemacht sind. Meiner Ansicht nach aber giebt es zwei wesentlich verschiedene elektrische Flüssig-

---

of those active powers, and in the latter of a large portion of the other; while a body in its natural state remains unelectrified, from an equal balance of those two powers within it.

[1]) Phil. Trans., T. LI, Pt. I, p. 381.

keiten (oder Emanationen zweier verschiedener elektrischer Kräfte) und die Elektricität besteht nicht in einem Zu- oder Abströmen der Flüssigkeiten, sondern in der Anhäufung der einen oder der andern in dem elektrisirten Körper . . . Nach diesen Richtungen hin unterscheiden sich unsre Meinungen; welches die richtige von beiden ist, das ist eine andre Frage.“

Schon diese Worte zeigen deutlich die Zugehörigkeit SYMMER's zum NEWTON'schen Anschauungskreise, schärfer noch drückt er das am Schlusse seiner Arbeiten in den Worten aus[1]): Ich habe die Spuren der beiden elektrischen Kräfte nicht weiter zurückverfolgen können, als meine Beobachtungen mich geführt haben. Ich versuche deshalb auch nicht zu bestimmen, ob diese Elektricitäten aus den feineren Theilen der Materie bestehen, die eine active elastische Flüssigkeit bilden, oder ob sie von einem noch feineren und noch activeren Stoff sind, von dem wir aber bisher noch keine bestimmte Idee uns bilden konnten. Von welcher Kraft aber auch immer sie die unmittelbare Wirkung sein mögen und welches auch die geheime und unbemerkbare Art sein möge, nach welcher sie wirken, das interessantere Objekt unsrer Untersuchung ist es zu wissen, nach welchen Gesetzen sie wirken und wie weit ihre Wirksamkeit in der materiellen Welt reicht.[1])

Obgleich die Theorie SYMMER's, dessen Veröffentlichungen sich auf das Jahr 1759 beschränkten, immer etwas fragmentarisch blieb, erwarb sich die neue Hypothese doch sehr rasch zahlreiche Anhänger. Die Nolletianer, als sie die Theorie ihres Meisters nicht mehr zu halten vermochten, gingen doch lieber zu SYMMER als zu FRANKLIN über, weil sie dabei, wie schon bemerkt, vorgeben konnten, dass in der SYMMERschen die NOLLET'sche Theorie der entgegengesetzten Ströme im Grunde genommen doch noch vorhanden sei. In dieser Beziehung sagt schon der fanatische Vorkämpfer NOLLET's, der erwähnte Dr. KRÜNITZ, in seiner Uebersetzung der PRIESTLEY-schen Geschichte der Elektricität sehr charakteristisch (S. 173): „SYMMER will demnach zwei wirksame und entgegengesetzte Kräfte beweisen und beweist sie wirklich; er hat aber gar nicht nöthig, anzunehmen, dass die beiden Kräfte von zwei verschiedenen Flüssigkeiten herrühren; es sind blos unterschie-

[1]) I have not been able to trace the powers of electricity farther back than the observations I have given about, had led me. I do not therefore take upon me to determine wether they consist of the finer parts of matter, constituting an active and elastic fluid . . .; or if they are of a substance yet more subtile and active, of which, however we have hitherto been able to form no distinct idea. Whatever other power they may be the immediate effect of, or whatever be the secret and imperceptible manner in which they act, the more intresting object of our inquiry, is to know the laws according to which they act, and how far their operations extend in the material world.

dene Theile einer und derselben Flüssigkeit, welche sich in entgegengesetzter Richtung bewegen; kurz, es sind die gleichzeitigen Aus- und Zuflüsse, welche in den Schriften des Herrn Abt NOLLET so vollkommen erweislich gemacht sind."

Aber auch viele Franklinianer meinten schliesslich, die elektrischen Erscheinungen, eben des überall bemerkbaren symmetrischen Gegensatzes der Kräfte wegen, besser durch zwei entgegengesetzte elektrische Flüssigkeiten, als durch eine erklären zu können. Und als WILKE bei seinen Untersuchungen des elektrischen Spitzenlichtes zu dem Resultat kam, dass auch beim Laden der Spitze mit negativer Elektricität ein Ausfluss aus derselben wie bei positiver Elektricität stattfinde, da gingen die beiden damals berühmtesten deutschen Elektriker WILKE und AEPINUS, die früher beide Anhänger und geschickte Vertheidiger der FRANKLIN'schen Hypothese gewesen waren, zur SYMMER'schen Theorie über und sie zogen wenigstens in Deutschland die Allgemeinheit mit sich.

Doch war der Sieg der neuen Theorie niemals ein ganz vollständiger und jedenfalls für die Gegenpartei kein vernichtender. Die FRANKLIN'sche Hypothese hat neben der SYMMER'schen immer ihre Anhänger behalten und ist bei einzelnen Theoretikern, vor Allem in England, immer im Gebrauch geblieben. Meist betrachtete man doch die beiden Theorien als gleichwerthig und hielt es für blosse Geschmackssache, welcher von beiden man sich zuwenden wollte. In der That hatte die SYMMER'sche Theorie mit ihren auch in den kleinsten Theilchen der Materie vorhandenen entgegengesetzt gerichteten Strömen, die sich bei diesen Bewegungen nicht stören und nicht einmal Widerstand leisten durften, wenig Ursache, sich über die FRANKLIN'sche Theorie mit ihren entgegengesetzten Kräften zu erheben und konnte sich philosophischer Einfachheit und Angemessenheit ebenfalls nicht allzusehr rühmen.

Die beiden entgegengesetzten Theorien, die SYMMER'sche und die FRANKLIN'sche, waren auch wirklich nicht so sehr verschieden, als es bei oberflächlicher Betrachtung aussah. Beide ruhten ganz auf dem NEWTON'schen Kraftbegriff, nach dem die Materie nichts als ein sonst völlig unbestimmtes Substrat der Kräfte ist. Ob man dabei aber eine Materie mit verschiedenen Kräften oder verschiedene Materien mit immer nur einer Kraft hypothesirte, das machte im Grunde nicht viel Unterschied. Diese sehr bequeme Anpassungsfähigkeit der mit NEWTON'schen Kräften begabten Materien erklärt die starke Lebensfähigkeit der beiden letzten elektrischen Theorien, die sie ein volles Jahrhundert überdauern und sogar eine Revolution, wie sie durch die Entdeckung der galvanischen Elektricität herbeigeführt wurde, siegreich überstehen liess.



II.

Die Theorien der elektrischen Imponderabilien

in unserem Jahrhundert.



Während die Elektriker am längsten von allen Physikern an den DESCARTES'schen Anschauungen festhielten und nur zögernd und nicht ohne Kampf die NEWTON'schen Fundamentalanschauungen für die Erklärung der elektrischen Erscheinungen annahmen, wurden merkwürdiger Weise sehr bald nach dieser Zeit gerade diese Erscheinungen die besten Zeugen für die allgemeine Gültigkeit des NEWTON'schen Kraftgesetzes in der ganzen Welt der physikalischen Erscheinungen. Freilich geschah diese Wandlung nicht sowohl durch die Experimentalphysiker, denen immer die anschauliche Vermittelung der Naturwirkungen durch Zwischenmaterien sympathischer war, als vielmehr durch Physiko-Mathematiker, die von Anfang an den abstracten NEWTON'schen Kraftbegriff begünstigt hatten. Dementsprechend war ein Ingenieur, der Oberstlieutenant im französischen Geniecorps CHARLES AUGUSTIN COULOMB, der erste, welcher die Menge und die Kraft der Elektricität exakt zu messen sich vornahm, und ihm gelang es auch direct, die elektrischen sowohl wie die magnetischen Kräfte, dem Gesetz der einfachen Proportionalität mit der Masse und der umgekehrten Proportionalität mit dem Quadrat der Entfernung sicher unterzuordnen. Durch ihn wurde auf diese Weise erst die Möglichkeit gezeigt, das NEWTON'sche Kraftgesetz, das bis dahin nur die gemeine ponderable Materie beherrscht hatte, auch auf die Wirkungen der Imponderabilien und somit über das ganze Gebiet der Physik und vielleicht auch der Chemie auszudehnen. Erst nach ihm konnten somit die NEWTON'schen Kraftideen die Herrschaft in dem ganzen Reiche der Naturkräfte beanspruchen, und in der That liess danach die NEWTON'sche Physik lange Zeit keinen Raum mehr für andere physikalische Fundamente frei.

Nachdem COULOMB schon im Jahre 1784 die Gesetze der Torsionskraft eines Drahtes bestimmt, beschrieb er in einer Abhandlung, die er im nächsten Jahre der Pariser Akademie überreichte, seine bekannte Torsionswaage, durch die er „mit der grössten Genauigkeit den elektrischen Zustand und die elektrische Kraft eines Körpers, wie gering auch der Grad der

Elektrisirung sei", messen konnte.[1]) Die Ergebnisse seiner sehr exakten und geschickten Messungen fasste er in einer folgenden Abhandlung in die präcisen Sätze zusammen: 1. dass sowohl die abstossende wie die anziehende Wirkung zweier elektrisirten Kugeln, und folglich zweier elektrischen Molecüle, im geraden Verhältniss der Dichtigkeiten des elektrischen Fluidums der beiden elektrisirten Molecüle und im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernungen steht; 2. dass bei einer nach der Methode des Doppelstrichs magnetisirten Nadel von 20 bis 25 Zoll Länge das magnetische Fluidum auf 10 Linien von den Enden der Nadel aus concentrirt gedacht werden kann; 3. dass, wenn eine Nadel magnetisirt ist, sie immer, in welcher Lage sie sich in einer horizontalen Ebene auch gegen ihren magnetischen Meridian befinde, in diesen Meridian von einer constanten, dem Meridiane parallelen Kraft zurückgezogen wird, deren Resultante stets durch denselben Punkt der aufgehängten Nadel hindurchgeht; und endlich 4. dass die anziehende und abstossende Kraft des magnetischen Fluidums, genau so, wie beim elektrischen Fluidum, in geradem Verhältniss zu den Dichtigkeiten und in umgekehrtem Verhältniss zum Quadrat der Abstände der magnetischen Molecüle steht.

Coulomb war danach von der Existenz nicht blos eines elektrischen, sondern auch eines magnetischen Fluidums sicher überzeugt. „Da magnetisirte Körper, so sagt er, auf einander in endlichen Entfernungen anziehend und abstossend einwirken, ebenso wie die elektrisirten Körper, so scheint das magnetische Fluidum, wenn nicht in seiner Natur, so doch wenigstens in dieser Eigenschaft dem elektrischen Fluidum analog zu sein." Für andere Anziehungs- und Abstossungserscheinungen dagegen, wie die der Cohäsion, der Elasticität und der chemischen Affinität, die nur auf sehr kleine Entfernungen hin wirksam sind, nimmt Coulomb nach dem Beispiele von Newton und Keil [2]) ein schärferes Gesetz, nämlich das der umgekehrten Proportionalität mit der dritten Potenz der Entfernung an. Trotz dieser so constatirten Unterscheidung der chemischen und elektrischen Kräfte macht Coulomb aber doch, so viel wir wissen zum ersten Male, auf einen möglichen Zusammenhang dieser Kräfte aufmerksam, indem er andeutet, dass möglicher Weise die chemischen Affinitäten ausser von der nur bei der Berührung wirkenden cohäsiven Kraft noch von zwei entgegen-

---

[1]) Die elektrischen Abhandlungen Coulomb's erschienen während der Jahre 1785 und 1786 in den Histoire et Mémoires de l'Academie royale des sciences. Sie sind, von W. König ins Deutsche übersetzt, erschienen in Ostwald's Klassikern der exakten Wissenschaften no. 13.

[2]) Vergl. Rosenberger: Isaac Newton und seine physikalischen Principien, Leipzig 1895, S. 348.

gesetzten Wirkungen abhängen, die denjenigen analog sind, die wir bei der Elektricität und dem Magnetismus finden.[1] Mit Hülfe seiner Torsionswaage begann dann COULOMB auch schon die Vertheilung der Elektricität in grösseren Körpern zu untersuchen und kam dabei zu dem wichtigen Satze, dass in leitenden Körpern die Elektricität sich nur auf der Oberfläche anhäufe; ein Satz, den allerdings CAVENDISH schon einige Jahre vor ihm angegeben hatte, ohne dass aber seine Ableitungen bekannt geworden wären.

Wie fest nun schon bei der Allgemeinheit die Ideen der mit NEWTON'schen Kräften begabten elektrischen und magnetischen Imponderabilien sich eingeprägt hatten, ersieht man auch aus dem berühmten Werke, welches TIBERIUS CAVALLO im Jahre 1787 über den Magnetismus[2]) erscheinen liess und in welchem die Theorie des Magnetismus ganz der FRANKLIN'schen Theorie der Elektricität nachgebildet war. „Als sich unsre Kenntnisse von der Elektricität, heisst es da sehr charakteristisch[3]), noch ganz allein auf die Eigenschaften des Bernsteins und einiger wenigen andern Substanzen, welche nach dem Reiben leichte Körper anziehen, beschränkten, konnte man diese Anziehung schwerlich von der magnetischen unterscheiden; und in der That gedenken ältere Schriftsteller der angeführten Eigenschaften des Bernsteins oft unter dem Namen eines Magnetismus desselben. Die neueren Erweiterungen der Wissenschaften aber, vornehmlich vom gegenwärtigen Jahrhundert, haben gezeigt, dass die Elektricität und der Magnetismus zwei ganz von einander unterschiedene Naturkräfte sind; dann scheint es mir nöthig, die Umstände anzuführen, in welchen der Magnetismus und die Elektricität einander ähnlich sind, dabei aber auch derjenigen zu gedenken, in welchen sie sich noch weit wesentlicher von

---

[1]) Vier Abhandl. ü. d. Elektricität u. d. Magnetismus v. COULOMB. Uebers. u. herausg. v. WALTER KÖNIG. Ostwald's Klassiker no. 13, S. 22, Anm.: „Es scheint aus dieser Rechnung hervorzugehen, dass die Cohäsion, die Elasticität und alle chemischen Affinitäten . . . unter sich nur nach einem Verhältniss wirken können, das dem umgekehrten Verhältniss des Cubus der Entfernungen sehr nahe kommt. Vielleicht hängen ausserdem alle chemischen Affinitäten von zwei Wirkungen ab, einer abstossenden und einer anziehenden, analog denjenigen, welche wir bei der Elektricität und dem Magnetismus finden." Chemische Wirkungen des elektrischen Funkens wollte man schon seit dem Jahre 1758 beobachtet haben, doch wurden solche Behauptungen auch wieder bestritten. Seit der Mitte der achtziger Jahre des achtzehnten Jahrhunderts aber wurden solche Beobachtungen immer mannigfaltiger und zugleich sicherer. Vergl. ROSENBERGER, Geschichte der Physik, III. Theil, S. 87.

[2]) TIBERIO CAVALLO: A Treatise on Magnetism . . . with original experiments, London 1787. Theoretische und praktische Abhandlung der Lehre vom Magnet mit eignen Versuchen von TIBERIUS CAVALLO, Leipzig 1788.

[3]) Theoret. und prakt. Abhandl. der Lehre vom Magnet, Leipzig 1788, S. 77—85.

einander unterscheiden. Die Kraft, welche die Naturforscher die Elektricität nennen, ist von doppelter Art, nehmlich die positive und negative Elektricität; und es ist in dieser Lehre ein Gesetz ohne Ausnahme, dass Körper, welche einerlei Elektricität haben, einander zurückstossen, da hingegen diejenigen, welche verschiedene Elektricitäten zeigen, einander anziehen. Ebenso giebt es beim Magnet einen Nord- und einen Südpol; und diejenigen Theile magnetischer Körper, welche einerlei Polarität haben, stossen sich zurück, da hingegen diejenigen, welche verschiedene Polaritäten besitzen, einander anziehen. Wenn bei der Elektricität ein im natürlichen Zustande befindlicher Körper in den Wirkungskreis eines elektrisirten gebracht wird, so wird er selbst elektrisirt, erhält die entgegengesetzte Elektricität von jenem, und es erfolgt eine Anziehung; so dass es in der That keine elektrische Anziehung giebt, ausser zwischen Körpern von entgegengesetzten Elektricitäten. Ebenso kann auch ein eisenartiger Körper, der in den Wirkungskreis eines Magnets kommt, von keinem Pole des letzteren angezogen werden, er habe denn zuvor eine entgegengesetzte Polarität erhalten. Keine Art der Elektricität kann allein hervorgebracht werden, sondern sie ist allezeit von der andern begleitet; auf eben diese Art sind allezeit beide magnetische Pole zugleich vorhanden; und man kann nie einen Körper hervorbringen, der nur die eine Polarität und nicht auch zugleich die andere hätte. Man kann die elektrische Kraft durch gewisse Körper, z. B. Glas, Bernstein, Harze u. s. w., welche elektrische genannt werden, aufhalten und einschliessen; andere Körper hingegen, welche Leiter oder Nichtelektrische heissen, werden ohne Schwierigkeit von ihr durchdrungen. So wird auch die magnetische Kraft von den eisenartigen Substanzen, besonders den harten, z. B. harten Stahl und Magnetstein, aufgehalten: hingegen dringt sie leicht und ohne merkliche Hinderung durch alle andere Arten von Körpern. Auf der andern Seite aber ist auch die magnetische Kraft von der elektrischen in vielen Stücken unterschieden. Erstens wirkt sie auf unsere Sinne nie durch Licht, Geruch, Gefühl und Schall. Dahingegen der elektrische Funken, Geruch und Schlag jedem, der mit elektrischen Versuchen umgeht, bekannt sind. Zweitens zieht der Magnet blos Eisen oder solche Körper an, welche dieses Metall in irgend einem Zustande enthalten, dahingegen die elektrische Kraft Körper jeder Art anzieht. Drittens hat die elektrische Kraft ihren Sitz auf der Oberfläche elektrisirter Körper, die magnetische aber ganz in ihrem Innern. Endlich verliert der Magnet durch die Mittheilung an andere Körper nichts von seiner Kraft; ein elektrisirter Körper aber verliert allerdings einen Theil seiner Elektricität, wenn er andere elektrisirt. Inzwischen ist hiebei zu

bemerken, dass dieser Verlust nur dann stattfindet, wenn sich beide Körper wirklich berühren, und der andere Körper dadurch ebendieselbe Art der Elektricität erhält; wird aber der andere Körper blos dadurch elektrisirt, dass man ihn in den Wirkungskreis des ersteren bringt, in welchem Falle er die entgegengesetzte Elektricität erhält, so verliert jener nichts von seiner Kraft" . . .

„Die Hauptfrage bei der Lehre vom Magnet ist diese, was es für eine Ursache sei, welche in einem Magnete von dieser oder jener Art, die Anziehung, Repulsion und andere magnetische Erscheinungen hervorbringt. Es ist in der That sehr überraschend, dass ein Stück Stahl u. dergl. durch die blosse Berührung oder auch nur durch die Nähe eines Magnets verschiedene ausserordentliche Eigenschaften annimmt, welche es auch hernach beibehält, und wobei doch sein Gewicht, seine Gestalt, Farbe und Härte gar nicht merklich geändert wird; dass es ferner hiebei nicht das Ansehen hat, als ob dem Stahle etwas vom Magnet mitgetheilt würde, oder aus dem Letzteren in den Ersteren überginge, was man entweder durch die Sinne bemerken, oder durch Dazwischenkunft irgend eines bekannten Körpers abhalten und hindern könnte. Zwar hat die Einbildungskraft der Menschen, welche immer bereit ist, die Lücken der Sachkenntnisse auszufüllen, eine Menge von Hypothesen auf die Bahn gebracht, aber die Unzulänglichkeit derselben zur Erklärung der verschiedenen Phänomene des Magnetismus zeigt bald, dass die meisten davon unwahrscheinlich, und viele sogar widersprechend und thöricht sind. Einige haben sich vorgestellt, dass die Zwischenräume der eisenartigen Körper mit Klappen versehen wären, welche der magnetischen Materie den Durchgang nach der einen Richtung verstatteten, nach der anderen aber derselben die Rückkehr versperrten. Andere haben angenommen, es gebe in jedem Magnet einen beständigen Umlauf einer gewissen flüssigen Materie von einem Pole zum anderen; mithin gebe es auch in der Erdkugel, welche ein grosser Magnet sei, einen solchen beständigen Umlauf oder Strom der magnetischen Materie von den Gegenden des einen Poles zu den Gegenden des anderen."

„Ich will hier bloss die Meinung des Herrn Aepinus vortragen, welche zwar einigen Einwendungen ausgesetzt, dennoch aber immer unter allen die wahrscheinlichste zu sein scheinet. Herr Aepinus leitet aus der Analogie mit der gewöhnlich angenommenen Hypothese über die Elektricität die Vermuthung her, dass es eine flüssige Materie gäbe, welche alle magnetische Erscheinungen hervorbringe, und die man daher die magnetische Materie nennen müsse, dass diese Materie fein genug sei, um durch die Zwischenräume aller Körper zu dringen, und dass sie elastisch sei, oder dass ihre Theile einander zurückstossen.

Er nimmt ferner eine wechselseitige Anziehung zwischen der magnetischen Materie und dem Eisen und anderen eisenartigen Körpern an; alle anderen Substanzen aber sollen nach ihm gegen diese Materie unwirksam sein, so dass zwischen ihnen und der letzteren weder Anziehung noch Repulsion stattfindet. Er bemerkt hierauf, dass zwischen den eisenartigen und den idioelektrischen oder nichtleitenden Körpern viel Aehnlichkeit stattfinde; denn die magnetische Materie gehe schwer durch die Zwischenräume des Eisens, so wie die elektrische Materie nicht anders als mit Schwierigkeit durch die Zwischenräume der Nichtleiter dringe. Nach dieser Hypothese nun enthalten das Eisen und alle eisenartige Substanzen eine gewisse Menge magnetischer Materie, welche gleichförmig durch sie verbreitet ist, wenn sie nicht im magnetischen Zustande sind. Sie zeigen daher in diesem Zustande weder Anziehung noch Repulsion gegeneinander, weil die Repulsion zwischen den Theilen der magnetischen Materie von der Anziehung zwischen der Materie der Körper und dem magnetischen Fluido gerade aufgehoben wird, in welchem Falle man von diesen Körpern sagt, dass sie sich im natürlichen Zustande befinden. Wenn aber in einem eisenartigen Körper die ihm zugehörige magnetische Materie in das eine Ende getrieben wird, so wird dasselbe mit dieser Materie überladen, das andere Ende hingegen enthält davon zu wenig. In solchen, d. i. in magnetisirten Körpern, äussert sich eine Repulsion zwischen ihren überladenen Enden, weil sich die Theile des Ueberschusses von magnetischer Materie, welcher von der Anziehung der Materie der Körper nicht ganz im Gleichgewichte erhalten werden kann, zurückstossen. Auch zeigt sich eine Anziehung zwischen dem überladenen Ende eines magnetischen Körpers, und dem zu wenig enthaltenden Ende eines anderen, wegen der Anziehung zwischen der magnetischen Materie und der Masse des Körpers. Um aber die Repulsion zwischen den beiden zu wenig enthaltenden Enden zu erklären, muss man sich entweder vorstellen, dass die Massen der eisenartigen Körper, wenn sie ihrer zugehörigen magnetischen Materie beraubt sind, in ihren Theilen einander selbst zurückstossen, oder dass die zu wenig enthaltenden Enden sich nur darum zurückzustossen scheinen, weil beide die entgegengesetzten überladenen Enden anziehen. Beide Voraussetzungen aber sind ihren Schwierigkeiten ausgesetzt. Demnach wird ein eisenartiger Körper magnetisch, wenn die gleichförmige Vertheilung der magnetischen Materie durch seine Substanz gestöret wird, so dass er an einem oder mehreren Theilen einen Ueberfluss und an einem oder mehreren andern Theilen einen Mangel an selbiger hat; und er bleibt so lange magnetisch, als seine Undurch-

dringlichkeit die Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen den überladenen und den zu wenig enthaltenden Theilen verhindert. Hieraus erhellet, dass man, wenn man einen Körper, z. B. ein Stück Stahl, magnetisch machen will, dazu einen Magnet von solcher Stärke gebrauchen müsse, welche den Widerstand, den die Substanz des Stahls dem freien Durchgange der magnetischen Materie entgegensetzt, überwinden kann; daher lässt sich weicher Stahl leichter magnetisch machen, als harter; und daher kann auch ein stärkerer Magnet eisenartige Körper magnetisiren, auf welche ein anderer schwächerer Magnet keine Wirkung thut."

Wie er selbst bemerkt, folgte Cavallo bei dieser Theorie im Wesentlichen Aepinus, der schon in seiner Abhandlung „von der Aehnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kräfte" (Grätz 1771, S. 42 und 43) behauptet hatte, 1) „dass es eine magnetische flüssige Materie giebt, welche sehr subtil ist, deren Theile unter einander sich zurückstossen, von eisernen Körpern aber . . . angezogen werden; dass aber die übrigen Körper, weder durch das Anziehen, noch durch das Zurückstossen, weder auf die flüssige Materie, noch diese auf die erstere wirken; 2) dass die magnetische flüssige Materie in den Theilen der eisernen Körper sehr schwer beweget wird, ja wie es scheint, noch schwerer, als die elektrische Materie, in denen von sich selbst elektrischen Körpern sich beweget. Dass es aber keine Körper giebt, die fähig wären, die magnetische Kraft anzunehmen, und welche denen nicht von sich selbst elektrischen Körpern ähnlich wären, da es keine giebt, welche eine leichte Bewegung der magnetischen Materie in ihren Theilen annehmen. Dass es aber scheint, dass gleichsam eine gewisse Gradation hier statt hat, dass nämlich das weiche Eisen diese Bewegung nicht so stark hindert, als der Stahl und dieser wieder um so viel weniger, je weniger er gehärtet ist."

Fast interessanter aber noch als diese Theorie selbst sind die Sätze, welche Aepinus in einer Anmerkung (S. 42) über die Art der elektrischen und magnetischen Kräfte beifügt. „Es wird ohne Zweifel, so sagt er, den meisten von meinen Lesern anstössig seyn, dass ich mich unterstehe, die magnetischen Phänomena aus der anziehenden und zurückstossenden Kraft abzuleiten. Denn die Kräfte werden von den mehresten zu den verborgenen Eigenschaften (occultis qualitatibus), wie man sie zu nennen pflegt, gerechnet. Ich halte aber diese Beschuldigung für sehr unbillig. Denn es giebt wirklich in der Natur dergleichen anziehende und zurücktreibende Kräfte, und dieselben sind gleichsam die ursprünglichen, worauf sich die übrigen gründen; die Ursachen derselben sind uns zwar unbekannt: allein wir sehen deutlich, dass unzählige andere Begebenheiten davon abhängen.

Und ich begreife nicht, worinnen derjenige fehlet, der die Phänomena aus den ursprünglichen Kräften, und worauf sich alle übrigen gründen, ableitet, ob wir gleich bis itzo den Ursprung nicht wissen. Es ist zwar an dem, dass einige unvorsichtige Schüler des grossen NEWTON's die Sätze ihres berühmten Lehrmeisters sehr verdrehet haben, da sie die anziehenden und zurücktreibenden Kräfte für eingepflanzte Kräfte (vires insitas) halten, und keine äusserliche Ursache derselben erkennen wollen. Ich nehme aber diese Lehre nicht an, und gestehe gern, dass die Attraction und Repulsion, die wir in der Natur wahrnehmen, von einer äusserlichen Ursache herrühren, allein, ich will lieber gestehen, dass ich nicht weiss, was es für eine ist, als erdichtete Hypothesen annehmen."

Man sieht aus diesen Worten, dass um die sechsziger Jahre des Jahrhunderts noch immer viele deutsche Physiker namentlich sich gegen die extremsten englischen Anschauungen von der primitiven Natur der NEWTON'schen Kräfte sträubten; doch aber nahmen sie nach und nach alle aus Mangel an Besserem solche Kräfte, wenn auch mit mehr oder weniger Vorhalten, die jedoch bald vergessen wurden, als Fundament ihrer physikalischen Anschauungen an. Jedenfalls war die Zeit, um die Wende des Jahrhunderts, die Epoche, in welchem die NEWTON-schen Fundamente der Physik am unerschütterlichsten erschienen und es in der That auch waren. Zwar wuchs in unserem Jahrhundert zuerst noch immer das Ansehen derselben, und äusserlich wurde die Festigkeit des Gebäudes in den Gemüthern der Gelehrten noch immer vergrössert; aber die innere Festigkeit, die sachliche Wahrheit begann doch schon, wenn auch noch unsichtbar, abzunehmen und neue Beobachtungen, die sich dem NEWTON'schen System nur mit grösserem Zwange anpassen liessen, begannen immer zahlreicher aufzutreten. Wie vielfach im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung wuchs die Beharrungskraft der geltenden Ideen noch in den Geistern, während der Fortschritt der Erfahrung schon die thatsächliche Richtigkeit dieser Ideen immer mehr verminderte. Das Meiste trug zu einer solchen allmähligen Umwandlung der Vorstellungen jedenfalls die Entdeckung der strömenden Elektricität und ihrer so mannigfaltigen neuartigen Wirkungen bei. Zwar ahnten die ersten Beobachter der neuen Elektricitätsarten selbst die tiefer gehenden Wirkungen ihrer Arbeiten noch kaum in ihrem eigentlichen Wesen, doch aber treten auch schon in ihren Beobachtungen dem Kundigen die revolutionären Momente deutlich vor Augen.

GALVANI[1]), der eigentliche Urheber der neuen Bewegung,

---

[1]) GALVANI's Hauptarbeit erschien im Jahre 1791 in dem VII. Bande der Berichte der Akademie Bologna unter dem Titel De viribus

wird vielfach als ein blosser Günstling des Zufalls ohne besondere theoretische Anlage und ohne besondere wissenschaftliche Verdienste betrachtet. In dieser ungerechtfertigten Beurtheilung haben die glänzenden Leistungen seines theoretischen Gegners VOLTA aber jedenfalls viel weiter, als recht ist, geführt, denn GALVANI war, gerade so wie sein Widersacher, nicht blos ein sehr geschickter Experimentator, sondern auch ein weitblickender Theoretiker, der nur an einer Stelle einem allerdings unglücklichen Irrthume nicht zu entgehen vermochte und den vielleicht doch nur der Tod daran hinderte, diesen Fehler noch zu berichtigen.

GALVANI bemerkte zwar zufällig, dass präparirte Froschschenkel zusammenzuckten, so oft in der Nähe Funken einer Elektrisirmaschine übersprangen, aber er beobachtete dann bewusst und zweckdienlich, dass die auftretenden Muskelcontractionen, sowohl der Stärke der Funken als der Ausdehnung der leitenden Nerven direct, wie auch der Entfernung vom Conductor der Maschine indirect proportional waren und schloss daraus gut wissenschaftlich, dass die elektrischen Strömungen, welche entweder direct von der Maschine durch die Muskeln gingen oder von ihr nur in den Muskeln inducirt waren, die Ursachen der Muskelcontractionen seien.[1] Funken eines Elektrophors wirkten ganz wie die aus der Elektrisirmaschine und auch die Blitze, die Funken atmosphärischer Elektricität, verhielten sich ebenso. Dagegen konnte GALVANI trotz langer Beobachtung keine Wirkung gewöhnlicher atmosphärischer Elektricität ohne Funken wahrnehmen. Nur als er ungeduldig die ehernen Haken gegen das eiserne Balkongeländer, an das die Froschschenkel bei diesen Beobachtungen gehängt waren, zu quetschen und zu drücken begann, bemerkte er häufig Muskelcontractionen, die aber mit den verschiedenen elektrischen Zuständen der Atmosphäre jedenfalls nichts zu thun hatten.

---

electricitatis in motu musculari commentarius, sie wurde schon im Jahre 1793 von Dr. JOH. MAYER ins Deutsche übersetzt unter dem Titel Abhandl. über d. Kräfte der thierischen Elektricität auf die Bewegung der Muskeln, Prag 1793. In der neuesten Zeit hat A. J. VON OETTINGEN in Ostwald's Klassikern der exakten Wissenschaften no. 52 abermals eine deutsche Uebersetzung des Werkes gegeben.

[1]) GALVANI weist nicht namentlich auf die Induktion hin, dass er aber die Zuckungen vielfach auf Induktionselektricität zurückführte, ersieht man aus den Versuchen, bei denen er das directe Einströmen des elektrischen Fluidums von der Maschine in die Muskeln zu hindern suchte. Er schloss nämlich die präparirten Froschschenkel in Gläser ein, deren Oeffnungen gegen die äussere Luft vollständig verkittet waren und auch dann traten mit jedem Funken der Elektrisirmaschine die Muskelzuckungen ein (Abhandl. über die Kräfte der Elektricität bei der Muskelbewegung v. A. GALVANI, Ostwald's Klassiker no. 52, S. 15).

Als ich diese Contractionen, so sagt GALVANI über diesen wichtigen Fortschritt[1]), noch nicht anders als in freier Luft beobachtet hatte, so fehlte nicht viel, und ich hätte der atmosphärischen Elektricität, welche in das Thier kriecht und sich daselbst anhäuft und bei der Berührung des Hakens mit dem Eisengitter plötzlich entweicht, solche Contractionen zugesprochen. Als ich aber das Thier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Contractionen, dieselben Bewegungen! Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und anderen Tagen erprobt; und dasselbe Ergebniss, nur dass die Contractionen bei der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei den einen nämlich heftiger, bei den anderen langsamer. Schliesslich kam uns in den Sinn, auch andere Körper, welche aber wenig oder gar keine Elektricität leiteten, nämlich aus Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz bestehende und zwar trocken zu dem Experiment zu verwenden, nichts Aehnliches trat ein, es liessen sich keine Muskelcontractionen und Bewegungen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Resultat bei uns nicht geringe Verwunderung und liess die Vermuthung in uns aufsteigen, dass dem Thiere selbst Elektricität inwohne. Wir wurden in beiderlei Hinsicht bestärkt durch die Annahme eines sehr feinen Nervenfluidums, das während der Erscheinung von den Nerven zu den Muskeln fliesse, ähnlich dem elektrischen Strome einer Leydener Flasche. Denn während ich selbst mit der einen Hand den präparirten Frosch an dem in das Rückenmark gehefteten Haken hielt und zwar so, dass er mit den Füssen auf einer silbernen Kapsel stand, dabei aber mit der anderen Hand an den Deckel der Kapsel, auf der der Frosch mit den Füssen ruhte, oder an ihren Rand mit irgend einem Metallstück stiess, sah ich wider Erwarten den Frosch in starke Zuckungen verfallen und zwar jedesmal, sobald ich diesen Kunstgriff anwendete. Dies regte mich sehr an, selbst mit einer Hand das Thier, wie früher, zu halten, mit der anderen aber die eines anderen Herrn und ihn zu bitten, mit seiner anderen Hand die Kapsel anzurühren oder zu stossen, damit dadurch gleichsam eine Art elektrischer Kette hergestellt wurde. Sogleich trat die Erscheinung der Contractionen ebenso wieder ein, nicht ohne unsere Freude und Verwunderung. Sie blieb jedoch wieder aus, wenn wir unsere Hände trennten, erschien wieder, wenn wir die Hände wieder vereinigten. Danach entschlossen wir uns, nicht nur durch Ineinanderlegen der Hände, sondern auch durch Dazwischen-

[1]) Ibid., S. 22.

halten bald eines nichtleitenden Körpers, nämlich eines Glasstabes, bald eines leitenden Körpers, nämlich eines Metallstabes, die Kette zu bilden. Bei dem Versuche aber sahen wir bei Anwendung des Metallstabes zu unserer grössten Freude die Erscheinung eintreten, bei Anwendung des gläsernen aber gänzlich aufhören und die Kapsel vergeblich mit dem leitenden Körper berührt oder mit derben Schlägen erschüttert werden, so dass wir deshalb glaubten festgestellt zu haben, dass die Elektricität derartige Contractionen errege, auf welche Weise solches zu Stande kommen möge. Um aber die Sache noch besser klar zu legen, habe ich mit dem grössten Erfolge den Frosch auf eine nicht leitende Platte, nämlich aus Glas oder Harz, gelegt und bald einen leitenden, bald einen ganz oder nur zum Theil nicht leitenden Bogen angewendet und mit dessen einem Ende den in das Rückenmark gehefteten Haken und mit dem anderen entweder die Schenkelmuskeln oder die Füsse berührt. Bei dem Versuche sahen wir bei der Anwendung des leitenden Bogens die Contractionen eintreten, dann aber bei der Anwendung eines zum Theil nicht leitenden Bogens ausbleiben. Der leitende Bogen bestand aus einem Eisendraht, der Haken aber aus einem Messingdraht. Ausserdem aber glückte es uns, das eigenthümliche und bemerkenswerthe Phänomen zu beobachten, dass nämlich die Mannigfaltigkeit und Verschiedenheit der Substanz des Metalls zur Erregung wie auch besonders zur Vermehrung der Muskelcontractionen viel beiträgt und zwar bei weitem mehr als bei Anwendung ein und derselben Metallsubstanz. So z. B. wenn der ganze Bogen eisern war oder der Haken eisern und ebenso die leitende Platte, blieben nur allzu oft die Contractionen aus oder waren ganz gering. Wenn aber z. B. das eine von ihnen eisern war, das andere aber aus Messing, noch besser, wenn es aus Silber war (Silber nämlich schien uns vor allen übrigen Metallen zum Leiten der thierischen Elektricität geeignet zu sein), traten wiederholt weit grössere und andauernde Contractionen ein.

Aus der Entdeckung eines Kreislaufs eines derartigen Nervenfluidums, gewissermaassen eines **elektrischen Feuers,** schien uns naturgemäss zu folgen, dass eine zwiefache und zwar verschiedenartige oder besser entgegengesetzte Elektricität die Erscheinung hervorruft,* wie es eine zwiefache Elektricität in der Leydener Flasche und im magischen Quadrat ist, durch welche das elektrische Fluidum in ihnen gleichsam seinen Kreislauf bewerkstelligt. Es kann nämlich, wie die Physiker bewiesen haben, ein Strömen und ein Kreislauf der Elektricität nicht stattfinden, ausser bei der Wiederherstellung des Gleichgewichtes und zwar nur (oder meist) zwischen verschiedenen Elektricitäten. **Dass aber jene in ein und derselben Metall-**

platte verborgen seien, schien der Natur gänzlich zuwiderlaufend und auch den Beobachtungen widersprechend. Es blieb daher nur übrig, dass sie beide in dem Thier sassen.

Hier liegt der Fehlschluss Galvani's offen zu Tage. Er hat richtig abgeleitet, dass es strömende Elektricität ist, welche die Muskelcontractionen hervorruft, scheitert aber bei der Frage nach der Quelle dieser Elektricität. Die Beobachtung, dass zur Hervorbringung der Muskelcontractionen immer Thiere sowohl wie Metalle nöthig waren, führt ihn, weil die Elektricität doch nicht in den Metallen, die sich dabei nicht verändern, entstanden sein könne, zu dem falschen Schlusse, dass die Elektricität aus den Thieren stammen müsse. Leider übersieht er dabei, vielleicht nur weil er selbst mehr Physiologe als Physiker war, dass doch bei der Berührung von Metallen, vor allem verschiedenen Metallen, und thierischen Säften oder auch nur der Luft, chemische Veränderungen vor sich gehen können, und dass er selbst viel stärkere elektrische Wirkungen bei der Anwendung verschiedener Metalle statt homogener festgestellt hat. Galvani bringt das elektrische Fluidum direct mit den thierischen Nervenströmungen zusammen und meint sogar, durch seine Entdeckungen einen Theil des Dunkels, das über dem Wesen der Seele liegt, aufgehellt zu haben. Diese weite Perspektive, die seine Entdeckungen damit zu eröffnen schienen, liess ihn dann an seiner Anschauung von der Wirkung blosser thierischer Elektricität bei den beobachteten Muskelcontractionen auch noch festhalten, als ihm schon sein glücklicherer Gegner Volta die Entstehung von Elektricität bei der Berührung verschiedener Metalle und die Wirksamkeit dieser auch in seinen Versuchen schon fast unzweifelhaft nachgewiesen hatte, und er glaubt zu dieser Beharrung um so mehr berechtigt zu sein, als es ihm schliesslich doch gelang, Muskelcontractionen, wenn auch nur sehr schwache, auch ohne Anwendung irgend eines Metalls, hervorzurufen, und so wirklich eine, freilich sehr geringe, thierische Elektricität zu constatiren.

Abgesehen aber von diesem Irrthum in der Quelle erforschte Galvani die Eigenschaften seiner Elektricität in physikalisch sicherer und genial erfolgreicher Weise. Er demonstrirte die Identität derselben mit den bis jetzt bekannten Elektricitäten durch Constatirung der gemeinsamen Eigenschaften in vollkommen überzeugender Weise. Mit der gewöhnlichen Elektricität hat die Galvani'sche nämlich gemein[1]: „Erstens die freie und leichte Bewegung durch dieselben Stoffe, durch welche die gewöhnliche zu fliessen pflegt, nämlich vor allem durch die Metalle, und unter denen am besten

[1]) Ostwald's Klassiker, no. 52, S. 51.

durch die vollkommneren, edlen, als da sind Gold und Silber; dann durch die weniger edlen, nämlich Bronze, Eisen, Zinn, Blei, ausserdem durch die unvollkommenen, zu denen Antimon gehört, und schliesslich durch Erze. Leicht und frei ist der Weg durch Wasser und Flüssigkeiten, schwieriger durch Steine, Erden, Hölzer, unterbrochen schliesslich und gänzlich abgeschlossen durch Körper aus Glas, Harz und Oel. Zweitens beim Ausströmen die Vorliebe für den kurzen und leichten Weg, nämlich für Bogen, Ecken und Spitzen. Drittens ihre Doppelsinnigkeit und ihr zweierlei Vorzeichen, nämlich das eine positiv und das andere negativ. Viertens ihr dauerndes und stundenlang constantes Anhaften an den Muskeln, nicht anders wie bei der gewöhnlichen Elektricität, die lange an den Körpern zu haften pflegt. Fünftens ihre gewissermaassen freiwillige und nicht geringe Zeit andauernde Erneurungsfähigkeit. Sechstens die hervorragende Zunahme ihrer Kräfte bei Anwendung des Kunstgriffes der sogenannten Belegung und zwar aus dem Metall, mit dem die Physiker gewöhnlich Harz- und Glaskörper bedecken." „Die mit der Elektricität des Zitterrochens und der anderen Thiere dieser Klasse gemeinsamen Eigenthümlichkeiten sind vor allem folgende: Der Kreislauf der Elektricität von einem Theile des Thieres zum anderen, und zwar durch den Bogen oder vielmehr durch das an Stelle des Bogens dienende Wasser, wie es die Physiker beobachtet haben. Daraus geht hervor, dass ein solcher Kreislauf nicht allein eine Eigenthümlichkeit des Zitterrochens und ähnlicher, sondern vielleicht der meisten Thiere bei Anwendung unserer Kunstgriffe ist. Ausserdem fehlen bei diesen wie bei jenen die Anzeichen einer noch so zarten Ausstrahlung, es fehlen die Anziehung und Abstossung sehr leichter Körper und schliesslich die Anzeichen auch der geringsten Bewegung in den bisher erfundenen Elektrometern. Mit einer solchen Elektricität hat ferner unsere thierische Elektricität auch das gemein, dass sie keiner vorausgehenden Kunstgriffe bedarf, z. B. der Reibung, Erwärmung u. dergl."

Als einen Unterschied seiner thierischen gegen die gewöhnliche Elektricität vermag Galvani noch die Beobachtung anzuführen, dass diese erstere viel „weniger leicht als die gewöhnliche allgemein verbreitete Elektricität durch die leitenden Körper sich verliert" [1]), eine Beobachtung, die schon auf den Unterschied in der Spannung der beiden Elektricitäten hindeutet.

Galvani hatte, wie oben berichtet, erkannt, dass die Quelle seiner Elektricität nur in den Thieren oder in den gebrauchten Metallen gesucht werden konnte, und hatte diese letztere Möglichkeit, als der Natur gänzlich zuwiderlaufend,

---

[1]) Ostwald's Klassiker, no. 52, S. 38.

verneint. Dieser Verneinung aber wurde fast direkt nach ihrer Bekanntmachung durch VOLTA widersprochen und gerade die Metalle wurden von ihm durch Experimente, die den GALVANI'schen congenial waren, als Hauptquelle der beobachteten Elektricität nachgewiesen. Schon vom Jahre 1793 an drückte VOLTA in Briefen seine Zweifel an der GALVANI'schen Theorie der thierischen Electricität aus; im Jahre 1795 aber trat er wieder in einem Briefe dieser Theorie einer thierischen Elektricität mit einer wohlausgebildeten Theorie der Metallelektricität direkt entgegen.[1] VOLTA wendet sich dabei zuerst gegen die im Anfange besonders bei deutschen Physikern ziemlich verbreitete Meinung, dass die sogenannte thierische Elektricität gar keine eigentlich elektrische, sondern eine durch die Lebenskraft erregte Nervenflüssigkeit sei, die keine andere Funktion habe, als die Muskeln zur Contraktion zu bringen. „Es ist gar kein Zweifel," so sagt er[2], „dass die in dergleichen Versuchen in Bewegung gesetzte Flüssigkeit nicht die wahre ächte elektrische sei, d. h. jene, welche sich in den Versuchen mit der gewöhnlichen Elektricität, aus dem Gleichgewichte bringt, sich sammelt und entladet etc. Ich kann nicht begreifen, wie sich manche es haben einfallen lassen, dass es eine andere, von der elektrischen gänzlich verschiedene, oder eine blosse analoge, aber keine identische Flüssigkeit sei; eine specifische thierische, auf eine gewisse Art elektrische, ja wohl dabei wahre elektrische Flüssigkeit selbst, nur verschiedentlich modificirt, mehr oder weniger ihrer natürlichen Eigenschaften beraubt, oder mit mehreren begabt, auf eine gewisse Art animalisirt, welcher sie den Namen einer elektrisch-thierischen Flüssigkeit beigelegt haben. Das sind leere Begriffe, unnütze, ungründliche Voraussetzungen. Es ist vielmehr nichts anderes, als die gemeine wahre elektrische Flüssigkeit, welche durch die Wirkung (eine neue und wahrlich wunderbare Entdeckung) heterogener, zur gegenseitigen Berührung gebrachten Leiter, in Lauf gesetzet wird, die Nerven reizet, sie angreift, durchläuft und durch sich selbst die Zusammenziehungen in den von ihnen abhängigen Muskeln hervorbringt; ganz das nämliche, welches geschieht, wenn die Nerven von dem elektrischen Fluido durchdrungen werden, welches von einer gewöhnlichen Maschine, mit einer Leydner Flasche u. s. w. auf dieselbe geleitet wird. Die Wirkung auf die Nerven und Muskeln ist auf die eine und die andere Art

---

[1]) Die Briefe wurden abgedruckt in Brugnatelli's Giornale fisico-medico; deutsch wurden sie herausgegeben von Dr. JOH. MAYER: Volta's Abhandlungen über die thierische Elektricität, Prag 1793; Volta's Schreiben an den Herrn Abt Anton Maria Vasali über die thierische Elektricität, Prag 1796.

[2]) Volta's Schreiben an Vasali, Prag 1796, S. 2, Anm. 1.

sich ganz gleich. Von dieser Aehnlichkeit auf die Ursache zu schliessen, ist schon an sich selbst ein grosses Argument. Bemerkt man noch, dass es eben dieselben Nichtleiter, gute und schlechte Ableiter der gemeinen Elektricität sowohl als der in Bewegung gesetzten Flüssigkeit obgedachter Versuche sind, so kann gar kein Zweifel mehr obwalten, dass es nicht eine und die nämliche elektrische Flüssigkeit sei. Die Einwürfe, von daher genommen, dass man keine Funken oder ein anderes der gewöhnlichen elektrischen Zeichen bemerke, sind von gar keinem Gewicht. Man nimmt ebenfalls keines dieser Zeichen bei sehr schwach elektrisirten Leitern wahr. Und dennoch sind dies Entladungen der wahren elektrischen Flüssigkeit, die die Leiter durchläuft, welche sie von einem Ende bis an das andere durchlassen. Unter diesen sind auch die empfindlichsten Nerven eines Thieres begriffen und auf eine Art eingerichtet, dass sie den Lauf entweder ganz oder doch grösstentheils durch sich gestatten, und dass dieser, so schwach er auch immer ist, die Nerven dennoch empfindlich zu reizen, einen Geschmack auf der Zunge, ein Blitzen im Auge, und vorzüglich die Zusammenziehungen der von ihnen abhängigen Muskeln hervorzubringen im Stande ist, wie ich es durch verschiedene Versuche mit der gewöhnlichen, künstlichen Elektricität bewiesen habe. Diese wunderbare Reizbarkeit der Nerven, (vorzüglich jener, welche zu den willkürlichen Bewegungen dienen) auf die elektrische Flüssigkeit, machet aus dem auf die Galvani'sche Art zubereiteten Frosche ein lebendiges Elektroscopium, welches die feinsten Elektricitätsmesser mit Goldblättchen u. s. w. an Empfindlichkeit weit übertrifft."

„Die Meinung, welche ich mit so vielen Beweisgründen und Versuchen behauptet habe und noch behaupte [1]), bringt alles auf ein Spiel der geschickt angebrachten Leiter zurück, auf die Kraft, welche ich ihnen beilege, oder besser, mit welcher, wie ich die Entdeckung gemacht habe, sie begabet sind, dass sie nämlich dies reizen und bewegen, wo die Leiter, was immer für einer Klasse der elektrischen Flüssigkeit begegnen oder dieselbe berühren. Daher kommt es auch, dass wenn drei oder mehrere verschiedene Leiter einer den anderen berühren, sie einen Leiterkreis bilden. So z. B. wenn zwischen zwei Metalle: Silber und Eisen, Blei und Messing, Silber und Zink u. s. w. ein anderer oder mehrere nicht metallische Leiter gestellt werden. Ich meine jene Leiter, welche ich die nassen benannt habe, weil sie entweder selbst flüssig sind, oder eine Flüssigkeit in sich enthalten, worunter alle thierischen Körper und alle ihre frischen und saftigen Theile gehören. Kommt nun ein Leiter

[1]) Volta's Schreiben, Prag 1796, S. 7.

dieser zweiten Klasse zwischen zwei der ersten, zwischen zwei verschiedene Metalle, und wird von ihnen berührt, so entsteht ein immerwährender Lauf, je nachdem die Wirkung, kraft der Berührung auf der einen oder andern Seite, das Uebergewicht hat."

„Dieses zeigt hinlänglich an, wie verschieden meine behauptete Elektricität von der vorgeblich thierischen des GALVANI und seiner Anhänger sei. Meine setzt keine Ladung, kein Übergewicht, folglich auch keine Entladung in den thierischen Organen, eben so wenig eine eigentliche Ladung oder Entladung der Leiter, wohl aber einen Kreislauf, ein immerwährendes Vorwärtsgehen der elektrischen Flüssigkeit, voraus, welches durch eine geheime, aus der Berührung ungleichartiger Leiter entspringende Kraft erreget und im Gange erhalten wird. Sie sind also bei so bewandten Umständen mehr als einfache Leiter, denn sie reizen zugleich wahrhaft und bewegen."[1])

Dafür sprechen vor Allem „die Versuche des Geschmacks, welchen ich mittelst der Metalle auf der Zunge zu erregen entdeckt habe. Dieser Geschmack ist entweder sauer oder alkalisch, je nachdem die Metalle z. B. das Silber oder das Zink, welche mit der Zunge den Leiterzirkel bilden, die Spitze derselben berühren. Die Wirkung der Leiter, kraft ihrer blossen Berührung, wenn sie nur sonst verschiedener Art sind, ist offenbar (jene Wirkung nämlich, welche die elektrische Flüssigkeit zu einem Kreislaufe zwingt, sobald nur der Zirkel der Leiter vollkommen ist) und lässt sich in dem grössten Teile dieser Versuche mit Händen greifen. Vorzüglich in jenen, in welchen eine Berührung nasser oder Leiter der zweiten Klasse an den entgegengesetzten Enden mit solchen der ersten Klasse oder Metallen sehr verschiedener Art, z. B. mit Gold oder Silber von der einen Seite, von der andern aber mit Eisen, oder besser, mit Blei oder Zinn, am besten aber mit Zink, statt hat. Durch diese Versuche habe ich auch noch die Richtung des durch dergleichen Berührungen hervorgebrachten Laufes der elektrischen Flüssigkeit entdeckt; vom Zinne oder Zinke nämlich mittelst der dazwischen gelegten nassen Leiter auf das Gold oder Silber."[2])

Nach der Erregung des Geschmacks construirt VOLTA auch seine erste Spannungsreihe, die nicht blos die Metalle, sondern auch zahlreiche Erze umfasst. Danach aber kommt VOLTA auf einen wunden Punkt seiner Theorie, den GALVANI und seine Anhänger gleich nach den ersten Angriffen VOLTA's aufgedeckt hatten; das ist die Thatsache, dass man an frisch zubereiteten und sehr empfindlichen Fröschen selbst ohne Da-

---

[1]) Volta's Schreiben, Prag 1796, S. 9, Anm. 2.
[2]) Ib., S. 10, Anm. 3.

zwischenkunft irgend eines metallischen Leiters oder einer Kohle eine Art von Zusammenziehung der Muskeln hervorbringen konnte, welches VOLTA bis dahin „zu dreist", wie er selbst sagt, als unmöglich angegeben hatte. „Dieses muss ich, so bekennt er jetzt[1]), zurücknehmen, oder meine zu allgemeinen Ausdrücke verbessern, nicht zwar in Rücksicht auf den Hauptsatz, welchen ich behauptet habe, und noch immer behaupte, das ist: dass die Bewegung der elektrischen Flüssigkeit nicht von den thierischen Organen, in welchen sich dieselbe, nach der Meinung der Galvanier als eine Ladung oder ein Uebergewicht befindet, herrühre, wohl aber von der Kraft, welche aus der Berührung ungleichartiger, den Leitungsbogen bildender Leiter, entspringt. Kurz, dass selbst in solchen Versuchen, bei welchen man sich keiner Metalle bedient, eine künstliche, durch eine äussere Ursache, keineswegs aber eine durch eine innere Kraft der Organe, Nerven, oder Muskeln hervorgebrachte Elektricität stattfinde. Um nun wieder auf diese Versuche zu kommen, so nimmt es mich gar nicht Wunder, dass selbst viele von jenen überraschet worden, welche anfänglich die vorgebliche thierische Elektricität nicht glaubten und sich nun öffentlich für sie erklären, nämlich alle jene die nur bei diesen stehen blieben und nicht reiflich über alle Umstände nachdachten ... Diese und ähnliche Versuche, in welchen kein metallischer Leiter, keiner von denen, welche ich Erreger (eccitatori) genannt habe, vorkommt, in welchen ein Theil des Thieres selbst den Leiterbogen ausmacht, oder, wenn er ihn ja nicht ganz ausmacht, dennoch den Leiterzirkel mit andern nassen Leitern ergänzen hülft. Diese Versuche, rufen die Galvanianer, sind entscheidend, sind überzeugend ... Nun was sagen Sie dazu, mein lieber Freund! geben Sie es Ihnen sogleich schlechterdings gewonnen? oder wollen Sie, um Frieden zu halten, beide Principien gelten lassen, und annehmen, (welches ich auch einmal aber nur eine kurze Zeit that), dass einmal das eine, ein andermal das zweite Princip Ursache dieser Zuckungen sei? Aber sie können kühn glauben, dass die ungleichartigen Metalle mit ihren nassen Mitleitern ganz gewiss die Kraft besitzen, die elektrische Flüssigkeit in Bewegung zu setzen, und dass diese Wirkung, dieser dadurch erregte elektrische Lauf viel zu schwach sei, um durch gewöhnliche Elektricitätsmesser angezeigt zu werden, aber mehr als hinlänglich stark, um die willkürlichen Nerven, oder besser die respektiven und andere sehr empfindliche Muskeln, durch welche sie vereint durchgeht, zu reitzen. Diesen genugsam wirkenden Lauf, fühlen die schon seit langer Zeit zubereiteten, und schon sehr schwachen Frösche — diesen Lauf fühlen, wie ich entdeckt habe, die

[1]) Volta's Schreiben, Prag 1796, S. 23 u. f.

Nerven des Geschmacks, des Gesichts u. s. w. Können Sie nun meinen vielen Versuchen, in welchen bloss durch Hülfe verschiedener Metalle die obgemeldeten Wirkungen erhalten werden, Glauben beimessen oder nicht? Oder können Sie zur nämlichen Zeit auch noch glauben, oder wenigstens vermuthen, dass die Bewegung elektrischer Flüssigkeit manchmal von einer Ladung oder einem Übergewichte in den thierischen Organen, (wie es die Galvanianer für wahr annehmen), herrühre? Bei der näheren Beleuchtung und Untersuchung dieser Versuche, durch welche mir es gelungen war, Zuckungen in einem Frosche mittelst zweier Belegungen von ein und demselben Metalle, und mittelst eines Bogens aus einem Metalle ohne anderer Belegung, zu erregen, entdeckte ich, dass eine kleine zufällige Verschiedenheit in der Beschaffenheit dieser Belegungen oder den Enden des Bogenleiters, z. B. in der Politur u. s. w. hinreiche, um die elektrische Flüssigkeit in eine Bewegung zu setzen, sie in einen Lauf zu bringen, und einen vollkommen und frisch zubereiteten Frosch zu bewegen. Einige Monate darnach wurde meine Aufmerksamkeit durch die neuern Versuche des Herrn Abts Valli, bei welchen man sich gar keiner Metalle bedienet, aufgeregt. Ich machte sie nach, analysierte sie, wiederholte sie und änderte sie auf verschiedene Arten ab, und fand sehr bald, dass hier nur die Berührung der ungleichartigen Leiter notwendig sei, und dass das ganze Spiel von dieser Verschiedenheit abhänge. Sind denn die nicht metallischen, die nassen, oder irgend eine Feuchtigkeit enthaltenden Leiter der zweiten Klasse nicht auch Aufreger (Eccitatori) wie es die Metalle, oder die Leiter der ersten Klasse, verglichen mit jenen der zweiten sind? Ist ihnen nicht ebenfalls wie den Metallen diese Kraft verliehen? Ganz gewiss, aber nur in einem geringern Grade, so dass sie den metallischen Leitern in der Eigenschaft die elektrische Flüssigkeit zu bewegen, ebenso weit, als in jener sie zu leiten, nachstehen. So dachte ich gleich anfänglich, und erklärte mich darüber in einigen im Sommer 1792 an meine Freunde geschriebenen Briefen. Etwas von dieser Aufregungskraft legte ich auch damals schon den nicht metallischen Leitern, wenn sie von verschiedener Art sind, bei. Ich sage etwas von dieser Kraft, denn ich habe immer geglaubt, und glaube noch, dass diese ungleich geringer sei, als jene, welche sich durch die Berührung eines nicht metallischen Leiters der zweiten Klasse mit zwei verschiedenen metallischen Leitern entwickelt. Auf keinen Fall kann ich nun mehr sagen, sie sei so schwach, dass ihre Wirkung immer unmerklich bleibe, itzt da wir durch neuere Versuche belehret werden, dass in einigen Fällen, unter oben angeführten Umständen, durch eine äusserst geringe Kraft, die beinahe für keine gelten kann, solch ein elektrischer Lauf erreget werde; welcher hinreichet einen

nur erst und auf's beste zubereiteten Frosch in Zuckungen zu versetzen; um diese Wirkung hervorzubringen bedarf es sehr wenig, wie das durch die gewöhnlichen elektrischen Entladungen vorzüglich mit den Leidner Flaschen zu beweisen ist, die schwächsten, welche keinen Funken geben und nur den empfindlichsten, von Ihnen verbesserten BENNATI'schen Elektricitätsmesser mit Goldblättchen, ein wenig bewegen, reichen hinlänglich aus."

„Unser Principium [1]), dass aus jeder Berührung ungleichartiger Leiter eine Wirkung entstehe, welche die elektrische Flüssigkeit in eine stärkere oder schwächere Bewegung versetzt, wird also ausgedehnter, allgemeiner; so dass, wenn nur der Leiterzirkel aus drei was immer für Leitern, wenn sie nur sonst verschieden sind, zusammengesetzt ist, so erfolget immer entweder ein mittelmässiger, schwacher, oder der schwächste Lauf dieser Flüssigkeit. Wir lassen hier das Wort die metallischen hinweg, weil es eine nicht allerdings richtige Einschränkung festsetzt, oder wir verwechseln die Worte verschiedene metallische Leiter mit denen verschiedene vorzüglich metallische Leiter, oder der ersten Klasse. Durch dieses vorzüglich behalten die Leiter der ersten Klasse jenen Vorzug, welchen ich ihnen in meinen ersten Abhandlungen eingeräumt habe, dass sie die elektrische Flüssigkeit nicht nur in Bewegung setzen, sondern auch aufregen; eben diese Kraft besitzen auch die Leiter der zweiten Klasse, nur in einem sehr geringen Grade."

VOLTA hatte für seine neue Theorie bis dahin noch keinen neuen Versuch beigebracht, ausgenommen die Geschmackserregung durch zwei einander berührende Metalle, die sich aber in dem Falle der Elektricitätserregung durch verschiedene nicht metallische Stoffe nicht einmal nachweisen liess. Trotzdem lässt sich nicht verkennen, dass auch damals schon die klare VOLTA'sche Berührungstheorie der GALVANI'schen, die die dunkle Lebenskraft mit ins Spiel führte, entschieden überlegen war, wenn dies auch die Anhänger GALVANI's, und das war vielleicht damals die Mehrzahl der Physiker, noch nicht anerkennen mochten. Doch erlangte schon nach einigen Jahren, nachdem VOLTA im Jahre 1800 seine Säule und seine Becher- oder Trogapparate beschrieben hatte, seine Theorie nicht blos das vollständige Uebergewicht, sondern vielmehr die absolute Alleinherrschaft. VOLTA bewies durch diese Apparate unwiderleglich, dass man mit Hülfe einer blossen Zusammenstellung von Metallen und Flüssigkeiten alle Erscheinungen der GALVANI'schen Elektricität in bedeutender Stärke hervorrufen könnte, und er erklärte danach unter allgemeinem Beifalle ohne weitere Bedenken, dass diese Elektricität durch das blosse Berühren der Leiter, be-

---

[1]) Volta's Schreiben. Prag 1796 S. 66.

sonders metallischer und nasser Leiter untereinander, erzeugt werde. Indessen konnte auch diese mit so grossem Jubel aufgenommene VOLTA'sche Theorie ihre Alleinherrschaft nicht lange behaupten. VOLTA hatte ohne weitere Bestimmung die Berührung verschiedener Stoffe als Ursache der Erregung GALVANI'scher Elektricität angegeben und hatte dabei das Verhalten der verschiedenen, metallischen und nassen Leiter gegeneinander nur sehr flach eindringend berührt. Als die eigentlichen Erregungsorte der Elektricität bezeichnete er die Berührungsstellen der Metalle; den nassen Leitern, obgleich auch sie bei der Berührung Elektricität, freilich nur schwache, erregen könnten, schrieb er für seine Säule oder Batterien doch nur eine rein leitende Wirkung zu, so dass durch diese Leiter die einzelnen Elemente, in ihren elektrisch erregenden Einzelwirkungen ungehemmt, doch elektrisch miteinander verbunden blieben.[1] Aber als Ursache für die fortdauernde Bewegungserregung der elektrischen Materie einen rein statischen Zustand, wie die Berührung verschiedener Stoffe, ohne besondere Kräfte direct anzunehmen, erschien auch zu jener Zeit nicht ohne Weiteres gerechtfertigt und musste als ein gerader Widerspruch gegen das fundamentale Gesetz der Beharrung erkannt werden. So erschien auch nach VOLTA die Frage nach der eigentlichen Ursache der GALVANI'schen Elektricität noch offen und bald zeigte sich in der That eine neue Möglichkeit, die Entstehung derselben aus bekannten Kräften statt einer etwa anzunehmenden räthselhaften Contactkraft abzuleiten.

GALVANI hatte angenommen, dass die Metalle, die er als Bogen und Belegungen der Nerven benutzte, bei der Bewegung der Elektricität nur als Leiter dienten und sonst nicht weiter verändert würden. Bei Benutzung der grossen VOLTA'schen Apparate, die nach jedem Gebrauch neu aufgebaut und ziemlich mühsam gereinigt werden mussten, war aber eine bedeutende chemische Veränderung ihrer Oberfläche gar nicht zu verkennen, ja bessere Beobachter bemerkten noch schärfer, dass diese chemischen Veränderungen beim Durchlaufen eines galvanischen Stromes schneller vor sich gingen als bei einer sonstigen blossen Berührung der einzelnen metallischen und nassen Leiter. Ueberhaupt entdeckte man fast direct nach der Construction der VOLTA'schen Apparate, dass ein galvanischer Strom in einer Flüssigkeit immer chemische Veränderungen hervorrufe und dass somit galvanische Strömungen und chemische Zersetzungen untrennbar miteinander verbunden seien. Damit waren zwei neue Probleme zur Untersuchung gestellt, erstens nämlich, wie

---

[1] Die betreffenden Abhandlungen VOLTA's sind übersetzt in Gilbert's Annalen der Physik, X, S. 421 und XII, S. 497. Vergl. ROSENBERGER Geschichte der Physik, III. Theil, S. 114.

weit und welche chemischen Veränderungen durch den Strom hervorgerufen werden, und zweitens, ob denn auch umgekehrt aus den natürlichen chemischen Veränderungen einander berührender fester und flüssiger Stoffe Ströme galvanischer Elektricität hervorgehen könnten? Das erste Problem führte zur Aufstellung einer elektrischen Theorie der chemischen Vorgänge, nach welcher die chemischen Affinitäten nur durch die elektrischen Anziehungs- und Abstossungskräfte erzeugt werden; das zweite Problem veranlasste eine neue chemische Theorie der GALVANI'schen Elektricität, die sich der Contacttheorie gegenüberstellte.

GALVANI war schon im Jahre 1798 gestorben und hatte also keine Gelegenheit gefunden, den letzten Erfolgen VOLTA's gegenüber Stellung zu nehmen. Merkwürdiger Weise blieb auch VOLTA, der noch bis zum Jahre 1827 lebte, dem Streite um die chemische Theorie der galvanischen Elektricität, die seit dem ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts seiner Contacttheorie sich entgegensetzte, gänzlich fern. GALVANI und VOLTA waren vor Allem bemüht gewesen, an der neuen Elektricität alle Eigenschaften der alten nachzuweisen; nach neuen Eigenschaften hatten beide kaum gesucht, und VOLTA, der doch die von ihm bemerkte Geschmacksempfindung so folgenreich benutzte, ging nicht einmal soweit, dieselben auf chemische Veränderungen der Mundflüssigkeiten durch den elektrischen Strom zurückzuführen. Auch nachdem NICHOLSON und CARLISLE noch im Jahre 1800 die Zersetzung des Wassers durch den GALVANI'schen Strom behauptet, brauchte man doch noch ziemliche Zeit, die elektrochemischen Zersetzungen richtig zu beurtheilen oder auch nur richtig zu erkennen. Das Bedeutenste leistete in dieser Beziehung HUMPHRY DAVY, der in einer Abhandlung „Ueber einige chemische Wirkungen der Elektricität"[1]), die er am 20. November 1806 vor der Royal Society las, die Zersetzung des Wassers in Sauerstoff erst über allen Zweifel erhob und damit die feste Grundlage für eine wissenschaftliche Erforschung der Beziehungen zwischen elektrischen und chemischen Kräften legte. „Die chemischen Wirkungen, sagt er in dieser Abhandlung[2]), welche die Elektricität hervorbringt, haben seit einiger Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich gezogen. Das Neue dieser Erscheinungen, die wenige Analogie derselben mit den bekannten Thatsachen und der scheinbare Widerspruch zwischen einigen der Resultate machen indess,

---

[1]) Phil. Transactions for 1807, p. 1. Deutsch herausgegeben von W. OSTWALD in Ostwald's Klassikern der exakten Wissenschaften, no. 45.

[2]) Ostwald's Klassiker, no. 45, S. 1.

dass diese Untersuchung mit dem tiefsten Dunkel bedeckt ist. Schon bei den ersten chemischen Versuchen, die man mit der VOLTA'schen Säule anstellte, hat man Spuren von Säure und von Alkali an den Oberflächen der elektrisirten Metalle wahrgenommen, durch welche ein Strom von Elektricität auf Wasser wirkte. CRUICKSHANK hielt die Säure für Salpetersäure und das Alkali für Ammoniak; DESORMES suchte bald darauf durch Versuche zu beweisen, dass es Salzsäure und Ammoniak sei; und BRUGNATELLI behauptete, es sei eine eigene neue Substanz, die er glaubte elektrische Säure nennen zu müssen. Ich hatte im Anfange des Jahres 1800 gefunden, dass, wenn zwei gesonderte Antheile destillirten Wassers in zwei Glasröhren durch feuchte Blase oder irgend eine andere feuchte thierische oder vegetabilische Materie mit einander verbunden, und der elektrischen Einwirkung der VOLTA'schen Säule durch Golddrähte ausgesetzt werden, in der Röhre des positiven Drahtes eine salpetersalzsaure Goldauflösung, und in der Röhre des negativen Drahtes eine Natronauflösung entsteht. Ich überzeugte mich indess bald darauf, dass in diesem Falle die Salzsäure von den thierischen und vegetabilischen Materien herrührt. Aehnliche Schlüsse haben die g a l v a n i s c h e S o c i e t ä t in Paris, der Dr. WOLLASTON, welcher die beiden Glasröhren durch befeuchteten Asbest verband, und die Herren BIOT und THÉNARD aus ihren Versuchen gezogen. Was das Natron betrifft, so bemerkte ich, dass, so oft ich davon eine grosse Menge erhielt, das Glas da, wo es von dem Drahte berührt, stark angefressen war; dagegen erhielt ich kein fixes Alkali, wenn ich in einer Achatschale destillirtes Wasser elektrisirte, das durch zwei Platinspitzen mit der VOLTA'schen Säule verbunden war. Dieses bestimmte mich, das Natron hauptsächlich dem Glase zuzuschreiben."

DAVY zersetzte danach destillirtes Wasser unter den verschiedenartigsten Umständen durch den elektrischen Strom in Thonpfeifenköpfen, in Achatbechern und in Hohlkapseln aus reinem Golde einige Stunden oder auch einige Tage lang, und immer fand er unter den Zersetzungsprodukten Bestandtheile salzartiger Verbindungen, Metalle, Basen und Säuren. Die Beobachtungen aber, dass diese Zersetzungsprodukte in einem besonderen Zusammenhange mit den Bestandtheilen des Zersetzungsgefässes oder mit denen der Destillationsgefässe standen, auch mit der Zeitdauer der Zersetzung sich immer veränderten, liessen ihn die bis dahin vielfach herrschende Meinung, dass der galvanische Strom das Wasser in die betreffenden Zersetzungsstoffe verwandele, gänzlich verwerfen und durch seine Versuche als bewiesen annehmen, dass alle die basischen, sauren und metallischen, bei der elektrischen Zersetzung des Wassers erhaltenen Stoffe nicht aus dem Wasser, sondern aus

den Zersetzungsgefässen oder Destillationsgefässen stammten. Hiernach folgte dann ohne Weiteres der für die Elektrolyse grundlegende Satz, dass chemisch reines Wasser sich durch Elektricität einzig und allein in Sauerstoff- und in Wasserstoffgas zersetzt. Auch bei der elektrischen Behandlung von Salzlösungen konnte DAVY nie eine sogenannte Verwandlung der Stoffe, sondern immer nur eine Scheidung der Bestandtheile, und zwar, wie er meinte, bis auf die letzten einfachen Bestandtheile der Verbindungen bemerken.

Um diese elektrochemischen Zersetzungen zu erklären, nahm DAVY nach dem Vorgange von BERZELIUS und HISINGER an, dass die Bestandtheile, welche beim Zersetzen der Salze durch Elektricität sich trennen, von der einen zur anderen der elektrisirten Metallfläche hinübergeführt werden, weil sie von den betreffenden Polflächen je nach ihrer Art angezogen oder abgeschlossen werden, und dass dabei der Wasserstoff, die alkalischen Substanzen, sowie die Metalle und Metalloxyde zum negativen, die Säuren aber zum positiven Pole gehen. Das aber bedingte nach DAVY's Meinung wieder, dass diese Zersetzungsprodukte selbst von Natur aus elektrisch sind und eben durch die Anziehung der elektrischen Pole von einander getrennt werden. Bei der Zersetzung des Wassers würde also beispielsweise der negativ-elektrische Sauerstoff eines Wassertheilchens von der positiven Metallfläche angezogen, der positiv-elektrische Wasserstoff aber von ihr abgestossen; umgekehrt zöge die negative Metallfläche den Wasserstoff des Wassertheilchens an und stiesse den Sauerstoff ab. Im Mittelpunkte des flüssigen Bogens müsste daher nothwendig eine neue Verbindung unter den zurückgestossenen Materien vor sich gehen und es fände nun eine Reihe von Zersetzungen und Wiederzusammensetzungen von einer der elektrisirten Metallflächen zur anderen statt, so dass schliesslich die Theilchen der äussersten Punkte allein wirksam wären. Nehmen wir aber an, dass die Elemente und ihre Verbindungen von Natur aus elektrisch sind und je nach ihrer besonderen Natur auch eine besondere Art von Elektricität haben, so wird daraus von selbst folgen, dass Stoffe, deren natürliche Elektricitäten entgegengesetzter Art sind, sich durch diese Elektricitäten gegenseitig anziehen und, wenn sie nicht gehindert werden, mit einander verbinden müssen, dass also die chemische Verwandtschaft durchaus identisch mit der elektrischen Attraction ist.

„Die chemische Anziehung zwischen zwei Körpern, sagt DAVY demgemäss [1], lässt sich nicht bloss, wie es scheint, vernichten, dadurch, dass man den einen in einen elektrischen Zustand versetzt, der von seinem natürlichen Zustande ver-

[1]) Ostwald's Klassiker, no. 45, S. 34.

schieden ist, das heisst, indem man ihn durch Kunst in einen gleichartigen elektrischen Zustand mit dem andern versetzt; sondern man kann umgekehrt auch diese chemische Anziehung verstärken, indem man die natürliche Energie eines Körpers erhöht. Während so z. B. das Zink, das oxydirbarste aller Metalle, unfähig ist, sich mit dem Sauerstoff zu verbinden, so lange es in dem Kreise der Säule negativ, selbst nur durch eine schwache Kraft, elektrisirt wird, vereinigt sich das Silber, eins der am schwersten zu oxydirenden Metalle, sehr willig mit dem Sauerstoffe, wenn es in dem Kreise positiv elektrisirt ist. Dasselbe lässt sich von den übrigen Metallen sagen. Es würde bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse umsonst sein, die entferntere Ursache der elektrischen Kraft, oder den Grund auffinden zu wollen, warum zwei verschiedene Körper in ihrer Berührung sich entgegengesetzt elektrisirt finden. Der Zusammenhang ihrer Elektricität mit ihrer chemischen Verwandtschaft liegt dagegen ziemlich klar am Tage. Sollte es nicht möglich sein, dass sie überhaupt einerlei mit der Verwandtschaft und eine wesentliche Eigenschaft der Materie wäre. Es würde keine Schwierigkeiten haben, diese Ansicht durch Anwendungen in bestimmten Zahlen noch weiter aufzuklären, und sie überhaupt auf alle Fälle chemischer Verwandschaften auszudehnen. Bei dem jetzigen Zustande dieser Untersuchung würde es indess voreilig sein, dem hypothetischen Theile des Gegenstandes eine grössere Ausdehnung zu geben."

Der Behauptung Davy's von einer wesentlichen Identität oder wenigstens eines engen Zusammenhanges der elektrischen und chemischen Kräfte konnte nach den vorhandenen Beobachtungen kaum mehr widersprochen werden, wenn es auch zuerst immer noch wunderbar erschien, dass die elektrischen Imponderabilien ausser den vielen schon früher erkannten Wirkungen nun auch noch chemische Kräfte hervorbringen sollten. Leider knüpften sich an diese neue Erkenntniss nur wieder neue Schwierigkeiten und schliesslich ging aus ihr sogar einer der hartnäckigsten und allgemeinsten wissenschaftlichen Kämpfe hervor. Das gleichzeitige Auftreten elektrischer und chemischer Kräfte in der Volta'schen Säule führte mit Nothwendigkeit zu der Frage, welches denn dabei die primitive Form der Kraft sei, die elektrische oder die chemische? Volta hatte behauptet, dass beim Contact verschiedener Leiter, die in den Stoffen immer vorhandenen Elektricitäten vertheilt würden, und dass diese Vertheilung fortdaure, so lange die vertheilten Elektricitäten abströmen könnten. Diese ohne angebbaren Kraftverbrauch möglicherweise bis ins Unendliche fortdauernde

Scheidung und weite Bewegung der Elektricitäten ging schon damals gar manchem Physiker gegen die Ueberzeugung, und solche Physiker waren froh nach der Erkenntniss der gegenseitigen Abhängigkeit chemischer und elektrischer Kräfte die chemischen Vorgänge in der VOLTA'schen Säule als die Ursache der elektrischen Ströme angeben zu können. Freilich verlor man auf der andern Seite dadurch wieder den Vortheil, die leicht beobachtbaren elektrischen Anziehungen und Abstossungen zur Erklärung der gänzlich dunklen und unfassbaren chemischen Verwandtschaften benutzen zu können. Die Chemiker, welche sich in erster Linie natürlich für die Erklärung der letzteren interessirten, blieben darum meist der VOLTA'schen Contaktheorie treu und es entspann sich danach zwischen der chemischen und der Contakttheorie jener lange erbitterte Streit, der in den ersten sechs Jahrzehnten dieses Jahrhunderts mit solcher Heftigkeit geführt wurde, dass die Gegner schliesslich einander gar nicht mehr verstanden und der durch einen Compromiss nur nothdürftig abgeschlossen wurde. Die Anhänger der chemischen Theorie gaben am Ende zu, dass unter allen Umständen zur Erzeugung der GALVANI'schen Elektricität ein Contakt heterogener Stoffe nöthig sei, und die Contacttheoretiker konnten danach auch nicht leugnen, dass für die Dauer der elektrischen Ströme ein Aufwand an chemischer Energie nicht entbehrt werden könne. Wie und wo aber die Umsetzung von chemischer Energie in elektrische wirklich vor sich gehe, das genau anzugeben, musste man den Zeiten überlassen, wo die innere Natur dieser Energien erst vollständig erkannt sein würde.

DAVY war übrigens einer vermittelnden Richtung, wie sie später immer mehr zur Anerkennung kam, schon vom Anfange an zugeneigt. „Die elektrischen Kräfte der Metalle, sagt er in der erwähnten Abhandlung[1]), eines in Beziehung auf das andere, oder der im Wasser aufgelösten Substanzen, scheinen in den VOLTA'schen und den ähnlichen Apparaten die Ursache der Aufhebung des Gleichgewichts zu sein. Die chemischen Veränderungen scheinen dahin zu streben, das Gleichgewicht wieder herzustellen; und höchst wahrscheinlich hängen die Erscheinungen, welche diese Apparate zeigen, von der vereinten Wirkung beider Ursachen ab. In der VOLTA'schen Säule aus Zink, Kupfer und Kochsalzwasser, welche dem, was man die Bedingung ihrer elektrischen Spannung genannt hat, gemäss angeordnet ist, sind die sich berührenden Kupfer- und Zinkscheiben in entgegengesetzten Zuständen von Elektricität. Für eine Elektricität von so schwacher Intensität ist Wasser ein isolirender Körper. Daher bewirkt jede Kupferscheibe in der ihr gegenüberstehenden Zinkscheibe eine Vermehrung positiver

---

[1]) Ostwald's Klassiker, no. 45, S. 40.

Elektricität durch Vertheilung, und umgekehrt jede Zinkscheibe in der ihr gegenüberstehenden Kupferscheibe eine Vermehrung der negativen Elektricität, und die Intensität wächst im Verhältnisse der Zahl, die Quantität im Verhältnisse der Grösse der Oberflächen, welche die Reihe ausmachen.[1]) Wenn die beiden Enden miteinander in leitende Verbindung gesetzt werden, so streben die beiden entgegengesetzten Elektricitäten, sich gegenseitig aufzuheben. Doch nur, wenn die zwischen den Plattenpaaren befindliche Flüssigkeit unzersetzbar ist, lässt es sich denken, dass das Gleichgewicht wirklich hergestellt und der Kreislauf der Elektricität gehemmt werde. Da aber das Kochsalzwasser aus zwei Paar Elementen besteht, die entgegengesetzte elektrische Kräfte haben, so werden der Sauerstoff und die Säure von dem Zinke, der Wasserstoff und das Alkali[2]) von dem Kupfer angezogen. Daher besteht nur für einen Augenblick ein Gleichgewicht der Kräfte. Das Zink wird aufgelöst, und der Wasserstoff entbindet sich, die negative Kraft des Kupfers und die positive des Zinks entwickeln sich aufs neue, bloss geschwächt durch die entgegengesetzte Kraft des Natrons, welches das Kupfer berührt, und der Process der elektrischen Bewegung dauert so lange fort, als die chemischen Veränderungen vorgehen können. Diese Theorie vereinigt gewissermaassen miteinander die Hypothese VOLTA's über die Wirksamkeit der Säule, und die Meinung, welche sehr viel englische Physiker angenommen haben, der Galvanismus sei chemischen Ursprungs; sie wird überdies durch eine Menge anderer Thatsachen und Erfahrungen bestätigt und verstärkt.“

Die Theorie der elektrischen Imponderabilien und ihrer Kräfte war eine sehr bequeme, sie liess leicht jede neue Beobachtung sich unterordnen. Jede neue Art von Kraftwirkung, die man an der Elektricität beobachtete, brauchte blos als eine neue natürliche Eigenthümlichkeit der elektrischen Imponderabilien angenommen zu werden und das Neue war wie das Alte durch diese hypothetischen Flüssigkeiten erklärt. — Freilich hatte diese Bequemlichkeit auch ihre recht unvortheilhaften Seiten. Der primitive, nur durch die Negation der Schwere bestimmte Begriff der Imponderabilien bot in seiner sonstigen Unbestimmtheit kein einziges Moment, das eine Fortentwicklung angeregt oder auch nur die Richtung und Möglichkeit einer solchen angedeutet hätte. Und wie überhaupt der Begriff der

---

[1]) Intensität bezeichnet hier dieselbe Grösse, welche wir jetzt Spannung nennen; Quantität ist die Intensität des Stromes. FARADAY hat in seinen Abhandlungen diese Ausdrücke in der von DAVY angenommenen Bedeutung beibehalten.

[2]) Kochsalz ist als salzsaures Natriumoxyd gedacht; die Discussion über die Natur der Salzsäure beginnt erst um diese Zeit vor Allem durch die Initiative DAVY's.

Kraft als einer ganz unbestimmten Ursache der Bewegung, so hatte auch speciell der Begriff der elektrischen Kräfte keinen weiteren Trieb des Fortschritts in sich. Das war jedenfalls mit ein Hauptgrund dafür, dass nach der Entdeckung der chemischen Wirksamkeit fast zwei Jahrzehnte hindurch die Entwicklung der Elektricität keine weitere Fortschritte machte und dass während dieser Zeit keine neue Eigenthümlichkeit derselben entdeckt wurde, wie das bis dahin fast jedes Jahrzehnt geschehen war.

Nicht einmal die schon ganz nahe liegende Idee einer allgemeinen Umwandlungsfähigkeit aller physikalischen Kräfte wurde von den Experimentalphysikern aus den bisherigen elektrischen Erfahrungen gezogen, und erst ein ganz vager Gedanke der so verachteten Naturphilosophie, die Idee einer Verursachung alles physikalischen Werdens durch einen ganz allgemeinen polaren Gegensatz aller Naturkräfte, musste der Experimentalphysik zu Hülfe kommen, damit dieselbe auch an eine mögliche Polarität des galvanischen Stromes dachte und dann die magnetische Wirksamkeit desselben experimentell nachweisen konnte. Angeregt durch die Beobachtung der allgemeinen Wirksamkeit des Magnetismus und der Elektricität in der ganzen Natur hatte SCHELLING seit dem Anfange des Jahrhunderts die Idee eines polaren Gegensatzes der Naturkräfte zum Grundprincip alles natürlichen Geschehens gemacht und im Jahre 1820 endlich gelang es in der That einem seiner eifrigsten Anhänger unter den Physikern, HANS OERSTED in Kopenhagen, die angedeutete Polarität des elektrischen Stromes durch die Beobachtung magnetischer Kräfte an demselben nachzuweisen.

OERSTED beschrieb seine, colossales Aufsehen erregende Entdeckung in einer kleinen, nur zwei Quartblätter umfassenden lateinischen Abhandlung[1]), die er direct an die bedeutendsten Personen, Gesellschaften und Zeitschriften versandte. „Man bringe ein gradliniges Stück des verbindenden Drahtes, so heisst es darin, in horizontaler Lage über eine gewöhnliche, frei sich bewegende Magnetnadel so, dass er ihr parallel sei; und zu dem Ende kann man den Draht ohne Schaden nach Belieben biegen. Ist alles so eingerichtet, so wird die Magnetnadel in Bewegung kommen, und zwar so, dass sie unter dem vom negativen Ende des galvanischen Apparates herkommenden Theile des verbindenden Drahtes nach Westen zu weicht. Ist die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel nicht mehr

[1]) Die Abhandlung führte den Titel Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in Acum magneticam; sie erschien in der Ursprache in Schweigger's Journ. d. Chemie u. Physik XXIX, S. 275; ins Deutsche übersetzt in Gilbert's Annalen LXVI, S. 295, in neuester Zeit auch in Ostwald's Klassikern, no. 63.

als $^5/_4$ Zoll, so beträgt diese Abweichung ungefähr 45°. Der verbindende Draht kann nach Osten oder nach Westen bewegt werden, wenn er nur immer der Nadel parallel bleibt, ohne dass dieses einen andern Einfluss auf den Erfolg hat, als dass die Abweichung kleiner wird. Es lässt sich folglich diese Wirkung keineswegs einer Anziehung zuschreiben; denn derselbe Pol der Magnetnadel, der sich nach dem verbindenden Draht zudreht, wenn er östlich von der Nadel ist, dreht sich von demselben abwärts, wenn er sich westlich von derselben befindet, welches nicht möglich wäre, wenn diese Abweichungen auf Anziehungen und Abstossungen beruheten.“

Dieser letztere Schluss OERSTED's ist, vor Allem in der ersten Zeit, kaum beachtet worden, ruht aber auf gutem Grunde. Eine NEWTON'sche Kraft ist nur von der Entfernung, aber nicht von der Lage der wirkenden Körper abhängig; sie kann also durch eine blosse Lagenveränderung ihren Charakter nicht ändern und nicht aus einer Anziehung in eine Abstossung übergehen, darum, so meint OERSTED, kann die richtende Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel nicht auf gewöhnlichen NEWTON'schen Kräften beruhen. Diesem Schlusse entsprechen auch die folgenden Beobachtungen. „Wenn sich der verbindende Draht in einer horizontalen Ebene unter der Magnetnadel befindet, so gehen alle angegebenen Wirkungen nach entgegengesetzter Richtung vor, als wenn er in einer über derselben befindlichen horizontalen Ebene ist, sonst aber auf ganz gleiche Weise. Dreht man den verbindenden Draht in der horizontalen Ebene, so dass er allmählich immer grössere Winkel mit dem magnetischen Meridiane macht, so wird die Abweichung der Magnetnadel vermehrt, wenn das Drehen des Drahtes nach dem Orte der gestörten Magnetnadel zuwärts geschieht; sie nimmt dagegen ab, wenn das Drehen von diesem Orte zurück geschieht.“

Am Ende seiner Abhandlung entwickelt OERSTED in ganz knapper Weise seine Gedanken über eine mögliche Erklärung der beschriebenen Erscheinungen, wobei er Ideen andeutet, die mit den späteren FARADAY'schen Vorstellungen über die Art der magnetischen Kraftlinien des elektrischen Stromes fast identisch sind.[1]) Aus den zuletzt angedeuteten Beobachtungen geht hervor, dass die Wirkung eines galvanischen Stromes auf einen magnetischen Pol der Wirkung einer bewegten Materie entspricht, die in Kreisen rotirt, deren Mittelpunkte auf der Strombahn liegen und deren Ebenen zu ihr senkrecht sind, denn eine solche strömende Materie würde z. B. den Pol über der Strombahn nach einer, und unter ihr nach der entgegen-

---

[1]) Auch A. v. OETTINGEN macht auf diese Aehnlichkeit der OERSTED'schen Vorstellungen mit denen von MAXWELL, FARADAY und HERTZ aufmerksam; vergl. Ostwald's Klassiker, no. 63, S. 77, Anm. 8.

gesetzten Richtung führen. Um dann die Wirkung entlang der ganzen Strombahn zu erklären, kann man entweder einen solchen Kreis mit der in ihm strömenden Materie längs der ganzen Strombahn fortrücken lassen, wonach die bewegte Materie in Spirallinien um die Strombahn laufen würde, oder man kann sich die Kreise als feststehend denken und nur die Bewegungen in denselben entsprechend der Fortpflanzung des Stromes als allmählig immer weitergreifend annehmen. Das Erstere entspricht den Vorstellungen OERSTED's, das Zweite, was aber doch ganz auf dasselbe hinauskommt, mehr dem Sprachgebrauch FARADAY's und seiner Anhänger.

OERSTED's eigene Worte über diesen Gegenstand lauten: „Aus allem diesem lassen sich einige Momente zur Erklärung dieser Erscheinungen ableiten. Der elektrische Conflict[1]) vermag nur auf die magnetischen Theile der Materie zu wirken. Alle nicht magnetischen Körper scheinen für den elektrischen Conflict durchgängig zu sein, die magnetischen Körper dagegen, oder vielmehr ihre magnetischen Theilchen, dem Hindurchgehen dieses Conflictes zu widerstehen, und daher kommt es, dass sie durch den Stoss der kämpfenden Kräfte in Bewegung gesetzt werden können. Dass der elektrische Conflict nicht in dem leitenden Drahte eingeschlossen, sondern, wie gesagt, zugleich in dem umgebenden Raume ziemlich weithin verbreitet ist, ergiebt sich aus den angeführten Beobachtungen hinlänglich. Es lässt sich auch aus dem, was beobachtet worden, schliessen, dass dieser Conflict in Kreisen fortgehe; denn es scheint ohne diese Annahme nicht zu begreifen zu sein, wie derselbe Theil des verbindenden Drahtes, der unter einem Pole der Magnetnadel gestellt, diese nach Osten treibt, sie nach Westen bewegen sollte, wenn er sich über diesem Pole befindet, eine Kreisbewegung geht aber in den beiden entgegengesetzten Enden eines Durchmessers nach entgegengesetzten Richtungen vor sich. Es scheint überdem, es müsse die Kreisbewegung, verbunden mit der fortschreitenden Bewegung nach der Länge des Leiters, eine Schneckenlinie oder Spirale beschreiben, welches jedoch, wenn ich nicht irre, zur Erklärung der bisher beobachteten Erscheinungen nicht beiträgt.“

Der Schlusssatz der ganzen Abhandlung aber zeigt direct die Abhängigkeit des OERSTED'schen Gedankenkreises von der

[1]) Elektrischer Conflict bedeutet nichts weiter als die Wirkung der elektrischen Ströme in dem Leitungsdraht. „Man denke sich die beiden entgegengesetzten Enden des GALVANI'schen Apparates durch einen Metalldraht verbunden. Diesen werde ich der Kürze halber stets den verbindenden Leiter oder verbindenden Draht nennen; die Wirkung aber, welche in diesem verbindenden Leiter und um denselben her vor sich geht, mit dem Namen elektrischer Conflict bezeichnen.“ Aus diesen Worten OERSTED's ersieht man wieder, dass derselbe stets sein Augenmerk auch auf die Vorgänge ausserhalb des Leitungsdrahtes richtete.

damaligen Naturphilosophie, die schon die Identität aller Naturkräfte behauptete. Und nochmals erscheint dabei die Kreis- oder Rotationsbewegung in ganz modernem Lichte, indem OERSTED dieselbe, trotz der damals noch absolut und allgemein geltenden Emissionstheorie des Lichts, zur Erklärung der Polarisation des Lichts empfiehlt. „Ich füge dem Gesagten, so lautet der Schlusssatz, nur noch hinzu, dass ich in einem schon vor sieben Jahren herausgekommenen Werke bewiesen habe, dass die Wärme und das Licht der elektrische Conflict sind. Aus den neuen hinzu gekommenen Beobachtungen lässt sich schliessen, dass die Bewegung in Kreisen auch in diesen Wirkungen vorkomme; welches zur Aufklärung derjenigen Thatsachen, die man die Polarität des Lichts nennt, wie ich glaube viel beitragen kann.“

OERSTED hatte versucht, die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes durch Bewegungen einer die Strombahn umkreisenden Materie zu erklären; er hatte nicht gewagt, diese Wirkungen aus NEWTON'schen Kräften allein abzuleiten, weil sie sich nicht blos von der Entfernung, sondern auch von der Lage der wirkenden Materien abhängig zeigten. AMPÈRE dagegen, der directe Nachfolger OERSTED's, brachte es doch fertig, auch diese Wirkungen auf primitive, nach dem NEWTON'schen Gesetz wirkende Kräfte zurückzuführen, wenn es dabei auch ohne einige neue Annahmen nicht abging. AMPÈRE's Absicht scheint von vornherein darauf gerichtet gewesen zu sein, auch die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes auf die bekannten Anziehungen und Abstossungen der beiden elektrischen Materien zurückzuführen. Dazu aber war erst noch eine weitere, nämlich die Entdeckung nöthig, dass galvanische Ströme einander ebenso wie die ruhenden elektrischen Imponderabilien anziehen und abstossen können. Nachdem AMPÈRE aber diese Entdeckung wirklich gelungen, war es auch fast selbstverständlich, den Magneten selbst mit einem elektrischen Strome zu identificiren, und so die elektromagnetischen Erscheinungen nach rein elektrischen Gesetzen zu beurtheilen. Die Wechselwirkungen zwischen Strömen und Magneten waren dadurch allerdings auf die Wechselwirkung zwischen strömenden elektrischen Flüssigkeiten zurückgeführt, aber die Erklärung dieser Wechselwirkungen aus den bekannten statischen Kräften der elektrischen Imponderabilien war doch eine mehr hypothetisch analogische als eine empirisch reale. AMPÈRE strebte in erster Linie nach einer *mathematischen Formel für die elektrodynamischen Wirkungen*, die der von COULOMB für die statische Elektricität als gültig nachgewiesenen NEWTON'schen *Kraftformel entsprach*. Da aber diese letztere Formel für bewegte wie für ruhende Massen in ganz gleicher Weise gilt, während die Wechselwirkungen zwischen galvanischen Strömen

augenscheinlich von der Bewegung und besonders von der Richtung derselben abhängig sind, so konnte die gewünschte Formel aus der NEWTON'schen Kraftformel jedenfalls nicht ohne Hypothesen, welche den Einfluss der Bewegung darstellten, hergeleitet werden. AMPÈRE sah das auch ein, meinte aber statt der Hypothesen Erfahrungsthatsachen benutzen zu können und bezeichnete demgemäss auch seine Theorie als eine rein empirische[1]), was aber bald von manchen Physikern, vor Allem von W. WEBER, bestritten wurde und augenscheinlich auch nicht richtig ist. Um für seine erstrebte Formel die NEWTON'sche als Grundlage benutzen zu können, setzt AMPÈRE zuerst statt der wirkenden Massen die Produkte aus der Stromintensität I und der Länge des wirksamen Stromelements ds, so dass die Wirkung zweier Stromelemente aufeinander dem Produkt $I_1\, ds_1\, I_2\, ds_2$ proportional wird. Dann nimmt er weiter an, dass die Richtung der zwischen zwei Stromelementen wirkenden Kraft in die Verbindungslinie derselben fällt, dass sie einer Potenz dieser Verbindungslinie umgekehrt proportional ist, dass sie nur abhängt von der relativen Lage der Elemente zu einander und dass endlich die Wirkung eines geschlossenen Stromes gegen ein Element eines anderen Stromes auf der Richtung des Elements senkrecht steht.[2])

Die AMPÈRE'sche Formel ist empirisch so wohl bestätigt, dass sie für geschlossene Ströme wenigstens keinen Widerspruch gefunden hat, und dass sie auch, wie MAXWELL sagt, „in allen Zeiten als Cardinalformel der Elektrodynamik bestehen bleiben wird.“ Als eine theoretische Erklärung der elektrodynamischen Erscheinungen auf Grund der NEWTON'schen Kraftanschauungen aber, für die man sie vielfach ausgegeben hat, ist sie jedenfalls nicht anzuerkennen, denn die Hypothesen, die zur Ableitung dienen, geben wohl, wie schon bemerkt, den NEWTON'schen analoge, aber durchaus keine identischen Begriffe. Es erscheint sicher noch am plausibelsten, dass man bei Strömen statt der absoluten Menge von elektrischer Materie die durch ein Stromelement in einer Secunde hindurchgehende Menge zu setzen hat, aber das Produkt $I\, ds$ enthält ausser der Masse auch noch die Richtung des Stromes in sich, und daher kommt es, dass die Kraft, welche $I_1\, I_2$ proportional ist, mit der Umkehrung eines Stromes ihr Zeichen ändert und also aus Ab-

[1]) Dies geschieht gleich in dem Titel seiner Hauptabhandlung Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes electro-dynamique uniquement détuite de l'expérience, dans lequel se trouvent réunis les Mémoires que M. AMPÈRE a communiqués à l'Académie royale des Sciences, dans les séances de 4 et 26 décembre 1820, 10 juin 1822, 22 décembre 1823, 12 septembre et 28 novembre 1825; Mém. de l'Acad. des Sciences, T. VI, 1823; erschienen 1827.

[2]) Vergl. die Bemerkung KARL NEUMANN's in Ostwald's Klassikern, no. 10, S. 91.

stossung in Anziehung umwechselt, was bei NEWTON'schen Massen und Kräften niemals der Fall sein kann. Durch die Erfahrung wird ja diese Umkehrung der Kraft sicher bestätigt; aus dem NEWTON'schen Kraftbegriff aber ist sie doch niemals zu deduciren und ist sogar niemals mit ihm zu vereinigen. Ebensowenig ist die zweite der obigen Annahmen in den NEWTON'schen Kraftideen enthalten. Nach diesen fällt die Wirkung zweier Kraftpunkte nothwendiger Weise, weil nicht anders denkbar, in die Richtung der Verbindungslinie dieser Punkte und Massenelemente können jederzeit punktförmig gedacht werden. Stromelemente aber haben den Begriff einer gewissen Länge und noch mehr einer gewissen Richtung in sich und sind darum niemals mit blossen Punkten zu identificiren. Das aber giebt dem Begriff ihrer Verbindungslinie etwas Unbestimmtes und die Annahme ihrer Wechselwirkung nach dieser Richtung erhält, auch wenn man statt der Elemente ihre Mittelpunkte setzt, als Hypothese wenig Klarheit. Diejenige Annahme aber, welche später am meisten Bedenken erregte, und die am meisten von der NEWTON'schen Physik abzuweichen schien, war die von der Transversalität der Wirkung eines Stromes auf ein Stromelement. Man hat darum seit jener Zeit immer versucht, diese Annahme als eine fundamentale zu vermeiden und direct von der Wirkung des Stromes auf die der Elemente zurückgehen, ist aber dabei erst recht auf noch nicht aufgeklärte Widersprüche gekommen.

Unleugbar hing die Wirkung zweier Ströme aufeinander von der Bewegung der Ströme, ihrer Richtung und ihrer Geschwindigkeit ab. Das AMPÈRE'sche Gesetz

$$I = \frac{i_1\, i_2\, ds_1\, ds_2}{r^2}\left(cs\, \varepsilon - \frac{3}{2}\, cs\, \vartheta_1\; cs\, \vartheta_2\right)$$

trug diesem Umstand genügend Rechnung (der Klammerfactor gab den Einfluss der Richtung der Bewegung und in den Intensitäten i_1 und i_2 war die Geschwindigkeit enthalten), im Uebrigen aber behielt es die Form des NEWTON'schen Gesetzes bei. Da lag es denn nahe, die Wirkung zweier Stromelemente aufeinander aus Theilen zusammengesetzt zu denken, welche aus der statischen Wirkung der Elektricitätsmengen und den Wirkungen bestehen, die durch die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen derselben noch hinzugefügt werden, um dann aus diesen Annahmen, die anschaulich gefordert und bis zu einem gewissen Grade wahrscheinlich sind, das AMPÈRE'sche Gesetz ohne die angezweifelten Hypothesen zu deduciren.

Wirklich gelang es W. WEBER um das Jahr 1846[1]) sowohl

---

[1]) Elektrodynamische Maassbestimmungen, I. Abhandl., Abhandl. bei Begründung der K. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften 1846; Auszug in Poggendorff's Annalen LXXIII, S. 193, 1848.

aus dem als richtig angenommenen AMPÈRE'schen Gesetz eine Formel $I = \frac{i_1\, ds_1\; i_2\, ds_2}{r^2}\left(1 - \frac{a^2}{16} v^2 + \frac{a^2 r}{8} \cdot \frac{dv}{dt}\right)$ für die ponderomotorische Wirkung strömender Elektricitäten abzuleiten, welche diese Wirkung deutlich von der statischen Kraft, wie von der Geschwindigkeit und der Beschleunigung der Elektricitäten abhängig zeigte, als auch umgekehrt aus der Annahme eines thatsächlichen Stattfindens dieser Abhängigkeiten das AMPÈRE'sche Gesetz selbst ohne weitere Hypothesen zu beweisen. Doch war auch damit ein allgemeiner Entscheid noch keineswegs erlangt. Bisher hatte man gemäss den NEWTON'schen Anschauungen die zwischen irgend welchen Massen wirkenden Naturkräfte nur von diesen Massen und ihren Entfernungen abhängig gedacht, jetzt sollten dieselben, wenigstens bei den elektrischen Massen, auch noch von der Bewegung abhängig sein; da fragte es sich denn, was man danach noch von der allgemeinen Gültigkeit des NEWTON'schen Kraftgesetzes zu denken habe? Sollte man die elektrodynamischen Kräfte ganz von den übrigen Naturkräften trennen und nur für diese das nach WEBER'scher Art modificirte NEWTON'sche Kraftgesetz als gültig annehmen, oder sollte man besser das WEBER'sche Gesetz als das allgemeine Kraftgesetz anerkennen, das nur für den Ruhezustand genau in das NEWTON'sche Kraftgesetz überging und für kleine Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, der Kleinheit der kinetischen Glieder wegen, sich auch nicht merklich von diesem Gesetz unterschied?

Im Allgemeinen discutirte man solche Fragen, die mehr von metaphysischer als physikalischer Wichtigkeit zu sein schienen, nicht gern und liess darum die Entscheidung über die Möglichkeit und Angemessenheit einer ganz allgemeinen Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes für alle Kräfte in der Natur mehr oder weniger in der Schwebe. Prof. ZÖLLNER[1]) aber vertheidigte seit dem Anfange der siebziger Jahre diese allgemeine Gültigkeit des WEBER'schen G e s e t z e s mit sicherer Bestimmtheit und wollte das NEWTON'sche G e s e t z nur als einen Specialfall jenes allgemeinen Gesetzes gelten lassen.

Mochte man nun aber auch das NEWTON'sche Kraftgesetz als ganz allgemein gültig (mit Ausnahme des Specialfalls der elektrodynamischen Kräfte), oder nur als für Massen gültig ansehen, deren Bewegungen (im Vergleich zur Geschwindigkeit des Lichts) keine allzu schnellen sind, immer schien den Physikern die NEWTON'sche Kraftvorstellung noch in voller unangreifbarer Geltung zu stehen, und das Gebäude der NEWTON'schen Physik

---

[1]) Principien einer elektrodynamischen Theorie der Materie von J. C. FR. ZÖLLNER, Leipzig 1876, S. XVII.

schien sogar durch die Ein- oder wenigstens Angliederung der elektrodynamischen Kraftformel an das alte Kraftgesetz noch an Festigkeit gewonnen zu haben. Doch war dies Wachsthum an Festigkeit, wie schon bemerkt, nur scheinbar. Nach aussen stand zwar das imposante Gebäude noch ohne Riss da, aber die Fundamente waren bedenklich erschüttert und schwach geworden, und grade die Nothwendigkeit des letzten Anbaus bewies dem Weiterblickenden schon deutlich, dass der Bau, wenn die Einheit gewahrt werden sollte, bald abgebrochen werden müsse.

Die Newton'sche Kraft war ihrem Begriff nach eine primitive, nicht weiter erklärbare Ursache der Bewegung, die den Materien von der Schöpfung her eigenthümlich war. Jetzt sollte diese von der Bewegung unabhängige Ursache doch wieder durch die Geschwindigkeit der wirkenden Massen in ihrer Wirkung vermindert und durch die Beschleunigung vermehrt werden können. That man diesem neuen Wunder gegenüber nicht besser, die Vorstellung einer von der Bewegung unabhängigen Bewegungsursache ganz aufzugeben und, wie das früher schon viel versucht worden war, alle Bewegungen wieder aus Bewegungen abzuleiten? Die Newton'sche Kraftanschauung musste eine momentane Verbreitung der Kräfte annehmen und konnte dieselben nur nach allen Richtungen gleichmässig von einem Punkte aus sich verbreitend denken; jetzt hatte man Kräfte kennen gelernt, die nur senkrecht zu einer bestimmten Richtung sich fortpflanzen und auch eine momentane Fortpflanzung der Kräfte wollte immer unwahrscheinlicher erscheinen. Musste man da nicht nach und nach von selbst dazu kommen, die rein dynamische Auffassung zu verlassen und es wieder mit kinetischen Vorstellungen zu versuchen, wie sie vielfach vor Newton geherrscht.

Merkwürdiger Weise wurde bald nach der Zeit, wo die elektrodynamischen Kräfte so viele neue Betrachtungen über die Wirkungsweise der Kräfte veranlassten, der Kraftbegriff aus der Reihe der bei der Messung physikalischer Grössen nöthigen Fundamentalgrössen herausgedrängt, und noch wunderbarer geschah das durch Mathematiker, die immer am festesten an den Anschauungen ihres Fachgenossen Newton gehalten hatten und auch noch daran festhielten. Die Mathematiker hatten bis dahin das Gebiet der Elektricität und des Magnetismus, die ja beide nach damaliger Vorstellung in ihrer Vertheilung denselben Gesetzen folgten, noch kaum berührt, und was seit Cavendish im Jahre 1771 von Poisson besonders im Jahre 1812 geleistet worden war, das betraf nur die statische Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Leitern, die wenig oder gar nicht von der Kugelgestalt abweichen. George Green führte diese Untersuchungen in seiner be-

rühmten Abhandlung von 1828[1]) sehr erfolgreich weiter, doch wurde dieselbe ihrer Zeit wenig bekannt und GAUSS gab im Jahre 1840[2]) manche Sätze GREEN's als eigene Entdeckungen, ohne GREEN zu kennen. Schon vorher aber im Jahre 1832[3]) hatte GAUSS in einer Arbeit über die Intensität der erdmagnetischen Kraft die oben angedeutete Elimination der Kraft aus den Fundamentaleinheiten der Physik vollzogen und das sogenannte absolute Maasssystem begründet.

Seit NEWTON hatte man als Fundamentaleinheiten für die Messungen mechanischer Grössen, die Einheiten der Länge, der Zeit und der Kraft (oder des Gewichts) benutzt; für die anderen physikalischen Grössen wurden nur je nach Bequemlichkeit und Zufall willkürliche Einheiten festgesetzt, die aber deswegen sowohl untereinander als auch mit den mechanischen Einheiten kaum zu vergleichen und die überhaupt kaum ihrer Grösse nach genau zu bestimmen und zu fixiren waren. Ja selbst die mechanische Kraft- oder die Gewichtseinheit war schwer in einer für alle Orte der Erde allgemein gültigen Form festzustellen, da das Gewicht derselben Masse für die verschiedenen Orte der Erde veränderlich ist. GAUSS, der die Grösse der erdmagnetischen Kraft in Zahlen angeben wollte, die für alle Orte und Zeiten unverändert gültig blieben, musste darum statt des Gewichts für die Fundamentaleinheit eine weniger veränderliche physikalische Grösse suchen und fand als solche die Masse. Aus den drei Maasseinheiten der Länge, Zeit und Masse konnte er dann leicht eine unveränderliche Einheit der Kraft und mit Hilfe dieser auch unveränderliche, leicht vergleichbare Einheiten für alle übrigen physikalischen Grössen ableiten. Mit solchen Festsetzungen für die magnetischen Grössen gab GAUSS das erste Beispiel für die Messung aller physikalischen Grössen nach absolutem (d. h. allgemeinem und unveränderlichem) Maass und ausdrücklich bemerkt er dabei, dass man die Mengen aller physikalischen Materien durch die Kräfte bestimmen könne, die sie ausüben, und dass man wieder diese

---

[1]) Ein Versuch, die mathematische Analysis auf die Theorien der Elektricität und des Magnetismus anzuwenden, von GEORGE GREEN. Zuerst erschienen Nottingham 1828; dann in Mathematical papers of the late GEORGE GREEN, London 1871. Deutsch herausgegeben von A. J. v. OETTINGEN u. A. WANGERIN in Ostwald's Klassikern, no. 61.

[2]) Allgem. Lehrsätze in Beziehung auf die im Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte von C. FR. GAUSS; zuerst gedruckt in Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1839, Leipzig 1840. Abgedruckt in Ostwald's Klassikern, no. 2.

[3]) Die Intensität der erdmagnetischen Kraft, auf absolutes Maass gegründet von C. FR. GAUSS, lateinisch im VIII. Bande der Abhandl. d. Gesellschaft d. Wissenschaften in Göttingen. Deutsch herausgegeben von E. DORN in Ostwald's Klassikern, no. 53.

Kräfte messen und vergleichen könne durch die Bewegungen, welche sie hervorbringen.[1])

GAUSS war, wie alle Mathematiker und die meisten Physiker der damaligen Zeit, noch ein unzweifelhafter Anhänger der Imponderabilien und der Kräfte NEWTON'scher Observanz. Doch wies seine Zurückführung aller physikalischen Grössen auf die Einheiten von Raum, Zeit und Materie, also auf reine Bewegungselemente, auf die Erklärung aller physikalischen Erscheinungen durch Bewegungen der Materie als ihre gemeinsame Ursache unbewusst aber deutlich hin. Damit rückte trotz allen Glanzes, der die NEWTON'sche Physik noch umgab, doch die Zeit immer näher, wo die Idee der primitiven Kräfte bei der Erklärung der Naturerscheinungen immer mehr in den Hintergrund und die Annahme primitiver Bewegungen immer stärker in den Vordergrund zu treten begann. In der That war der grosse Physiker, der diese Umwälzung vom elektrischen Gebiete aus muthig und energisch einleitete, um jene Zeit, Anfang der dreissiger Jahre des Jahrhunderts, schon erfolgreich an der Arbeit.

---

[1]) Ostwald's Klassiker, no. 53, S. 8.

III.

Faraday und seine Umgestaltung der elektrischen Fundamente.



Am 22. September 1791 wurde in Newington Butts bei London dem Hufschmiedsgesellen James Faraday als drittes Kind ein Sohn geboren, den er Michael nannte und den er in seinem dreizehnten Jahre zu einem Buchbinder und kleinen Buchhändler in die Lehre brachte, mit nur dürftiger Schulbildung ausgerüstet. Als dieser Hufschmiedssohn aber am 25. August 1867, nun Sir Michael Faraday, in seinem Landhause zu Hampton Court bei London starb, war er Mitglied und Ehrenmitglied aller bekannten wissenschaftlichen Gesellschaften der Welt, dreifacher Doktor honoris causa, Ritter des Ordens pour le mérite, Commandeur der Ehrenlegion, Inhaber der bedeutendsten wissenschaftlichen Ehrenmedaillen, u. s. w., und vom Jahre 1823 bis 1864 zählte er nur drei Jahre, in denen ihm nicht irgend eine bedeutende wissenschaftliche Auszeichnung zu theil geworden wäre, meist aber kamen deren in jedem Jahre eine ganze Anzahl.

Seine wissenschaftlichen Studien, wenn man so sagen darf, begann Michael Faraday, nach Beendigung seiner Lehrzeit als Buchbinder, in dem chemischen Laboratorium der Royal Institution in London am 1. März 1813, wo er als persönlicher Gehilfe des berühmten Chemikers Sir Humphry Davy (für 25 sh die Woche und ein Zimmer im Hause) dazu verpflichtet war, den Transport der Instrumente und Apparate für die Vorlesungen und das Laboratorium zu überwachen, und sie jedesmal nach dem Gebrauch, wie auch ausserdem alle Woche oder alle Monate wenigstens einmal zu reinigen. Ausserdem musste er leichte chemische Hilfsarbeiten, wie die Darstellung des duftigen Schwefelwasserstoffs oder Schwefelkohlenstoffs und zeitweise die Behandlung des launisch explosiven Chlorstickstoffes übernehmen. Kaum zehn Jahre später aber war schon der ehemalige Flaschenspüler, der mittlerweile auch noch seinem Meister auf einer Reise durch Frankreich und Italien Kammerdienerdienste geleistet hatte, selbst Direktor des Laboratoriums und im Erfolg einiger wissenschaftlicher Entdeckungen auch Mitglied der Royal Society und correspondirendes Mitglied der Pariser Akademie geworden. Sein Gehalt hatte sich auf 100 Pfund Sterling erhöht und bei seiner Vermählung hatte man ihm einige weitere Zimmer im Gebäude der Royal Institution zur Wohnung angewiesen.

Diese Zeit, die Mitte der zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts, war die Wende seiner ganzen Lebensstellung und das Plötzliche derselben wird prachtvoll durch folgende authentische Anekdote illustrirt. Auf eine gelegentliche Aeusserung DAVY's hin erwärmte FARADAY eines Tages in einer zugeschmolzenen Glasröhre das von ihm schon vorher untersuchte Chlorhydrat, so dass in der Röhre eine grosse Menge Chlor frei werden musste. Das Hydrat schmolz und über dem gebildeten Wasser zeigte sich das grünlichgelbe Chlorgas, aus dem sich nach und nach auf dem Wasser und an den Wänden der Glasröhre eine gelbe ölige Flüssigkeit in Tropfen absetzte. Ein bekannter Arzt und Mitglied der Royal Society, der zufällig durch das Laboratorium ging und dem die scheinbaren Schmutztropfen in der Röhre auffielen, nahm daraus Veranlassung, den jungen Chemiker gutmüthig herablassend auf die Nothwendigkeit absoluter Reinlichkeit bei chemischen Versuchen aufmerksam zu machen. FARADAY aber konnte dem weisen Herrn am nächsten Morgen die kurze jedenfalls verblüffende Mittheilung zukommen lassen: „Verehrter Herr! Das (schmutzige) Oel, welches sie gestern bemerkten, war nichts anderes als flüssiges Chlor. Ihr treu ergebener M. FR.“

Diese erste gelungene Verflüssigung eines Gases war es, die FARADAY mit einem Schlage die allgemeine Anerkennung als eines nicht blos ebenbürtigen, sondern auch überlegenen wissenschaftlichen Forschers sicherte. Seine Einnahmen wuchsen von da an, am meisten durch chemische Arbeiten und Analysen, die er für Kaufleute unternahm, bis auf 2000 Pfund jährlich, sanken aber mit dem Anfange der dreissiger Jahre wieder weit unter die Hälfte herunter, weil FARADAY um diese Zeit, wo er die Reihe seiner glänzendsten physikalischen Entdeckungen begann, freiwillig auf solche Privatarbeiten und damit auch Privateinnahmen verzichtete.

FARADAY hat besonders in England, dann aber in der wissenschaftlichen Welt überhaupt, eine Stellung erlangt, die fast mit der Stellung NEWTON's verglichen werden kann, und in Beziehung auf die Fortbildung der fundamentalen physikalischen Anschauungen darf man ihn jedenfalls als den direkten Nachfolger NEWTON's bezeichnen, ein Nachfolger freilich, dessen Schöpfungen zum grossen Theile auf eine Aufhebung der Fundamente seines Vorgängers hinausliefen. Einiges haben die beiden Fürsten der Wissenschaft in der That mit einander gemein. Das ist vor Allem die volle geistige Unabhängigkeit von jeder Schule und ihrem die Geister bindenden Gedankenkreise, die volle Selbstständigkeit des Sehens und Denkens gegenüber den landläufigen und augenblicklich geltenden Schultheorien und Schulmeinungen, die unerschrockene

Nichtbeachtung der augenblicklichen Lieblingshypothesen und Neigungen der Menge und ihres Tagesbeifalls; dann aber auch zur richtigen Ergänzung solcher Sonderstellung die nöthige geistige Kraft zu vollständigen Neuschöpfungen, das originelle Genie zum Hervorbringen des Neuen, die nothwendige Zähigkeit in dem Festhalten der einmal erfassten Aufgabe auch scheinbar unüberwindlichen Schwierigkeiten gegenüber, die Energie und Arbeitsfreudigkeit während des langen Weges der Lösungen am Anfange und am Ende, sowie endlich die nöthige Lebensdauer und die Musse zur vollständigen Durcharbeitung der übernommenen grossen Aufgaben.

Im Uebrigen war der äussere Lebenslauf und die geistige Entwickelung der beiden Geistesheroen doch so unähnlich wie nur möglich. NEWTON trat plötzlich, nachdem er während der einen Hälfte seines Lebens seine grossen Entdeckungen in der Einsamkeit seines Colleges, seiner Klosterzelle, könnte man fast sagen, ausgereift, durch die Gunst eines hochgestellten Schülers und Freundes in eine hohe, einfluss- und einkommenreiche Staatsstellung ein, um die zweite Hälfte seines langen Lebens mit allen Machtmitteln seines Amtes der Ausbreitung seiner Lehre zu widmen, und er hat diese Mittel so benutzt, dass er während der letzten drei Jahrzehnte seines Lebens, wo er Präsident der Royal Society war, keinen Nebenbuhler, ja kaum noch einen Andersgläubigen auf dem Gebiete der Wissenschaft neben und um sich hatte.

FARADAY dagegen ist stetig von Anfang seiner Laufbahn bis ans Ende gestiegen, aber während er in der Wissenschaft den höchsten Gipfel erreichte, blieb seine bürgerliche und überhaupt seine äussere Stellung auf bescheidener Höhe, und ein Herrscher war er nur im Reiche der Ideen. Ueberhaupt war bei ihm die wissenschaftliche Entwickelung von seiner gesellschaftlichen, und der wissenschaftliche Einfluss von seinem gesellschaftlichen so sehr getrennt, wie vielleicht sonst bei keinem Gelehrten. FARADAY hat niemals ein College oder eine Universität besucht, keine Universitätstitel oder akademische Würden bezeugten seine Fähigkeiten, er hat niemals einflussreiche Schulfreunde sich erworben und keine hohen Gönner haben ihm den Weg erleichtert. Sein Meister DAVY hat ihn in seine Stellung in der Royal Institution emporgehoben, hat aber doch nie vergessen, dass FARADAY sein ehemaliger Flaschenspüler war. Als FARADAY im Jahre 1824 in die Royal Society aufgenommen werden sollte, und das zur Anerkennung seiner Stellung auch lebhaft wünschte, war DAVY sein grösster Gegner, der als Präsident der Gesellschaft FARADAY sogar zur Zurücknahme seines Aufnahmegesuches zu bewegen und seine Wahl zu hintertreiben suchte. Es soll diese Bewerbung die einzige gewesen sein, die FARADAY jemals unter-

nommen; später lehnte er grundsätzlich alle wissenschaftlichen Ehrenämter, soweit sie Arbeit oder Repräsentation von ihm erforderten, direkt ab. Die Mitgliedschaft des Senats der Universität London nahm er zwar an und erfüllte die Pflichten derselben gewissenhaft, aber zur Uebernahme der Präsidentschaft der Royal Society, deren äusserer Glanz so viele angezogen hätte, war er trotz vielen Zuredens seiner Freunde nicht zu bewegen. Er sprach seinen zuredenden Freunden von der Arbeit, die mit dem Amte verknüpft sein würde, berief sich darauf, dass es nicht in seiner Natur läge, die Dinge leicht zu nehmen, dass er gewiss, wenn er sich zum Präsidenten machen liesse, viele neue Fragen anzuregen und einige Veränderungen in Vorschlag zu bringen hätte, und dass er dabei der Klarheit seines Geistes nicht für ein einziges Jahr noch sicher sei.

Auch seine sonstigen bürgerlichen Verhältnisse haben nicht bei seinem Emporsteigen geholfen, sondern vielmehr eine verhältnissmässige Vereinsamung des Gelehrten und damit eine ruhige Arbeitszeit bedingt. Am meisten trug dazu die von Vater und Mutter ererbte Zugehörigkeit zu der abgeschlossenen kleinen kirchlichen Sekte der Sandemanianer bei, die ihn in vielen Beziehungen von der Gemeinschaft, vor Allem von der vornehmen Gesellschaft seines Landes, isolierte. Diese von einem Mr. Sandeman im vorigen Jahrhundert gegründete kleine kirchliche Gemeinschaft schloss sich enger als alle anderen an das Urchristenthum auch in socialer Beziehung an. Die Sandemanianer waren ohne besondere besoldete Geistliche, behielten Liebesmahl und Bruderkuss bei, verabscheuten an ihrer Nahrung „Blut und Erwürgtes“ und mussten etwaige Ueberschüsse ihres Vermögens stets zur Verfügung für arme Brüder halten. Aus dieser Gemeinde wählte Faraday seine Frau, die Tochter eines ihrer Aeltesten, und vom Jahre 1840 hielt er selbst längere Jahre den Gottesdienst der Gemeinde als Aeltester ab und stand dem Liebesmahl der Brüder vor. Der Text seiner ersten Andachtsrede war bezeichnenderweise: „Lernet von mir, denn ich bin sanftmüthig und von Herzen demüthig.“ Faraday nahm auch an politischen, socialen oder philantropischen Bestrebungen wohl Interesse, aber doch keinen weiteren öffentlichen thätigen Antheil. Dagegen war er keineswegs ungesellig und betheiligte sich bei Gelegenheiten an Vergnügungen, wie er z. B. an den Diners der Royal Institution nicht ungern und auch nicht selten Theil nahm.

Faraday's einsame Stellung war insofern eigenthümlich, als sie nicht mit zunehmendem Alter und wachsender Bedeutung und Häufung seiner Arbeiten sich nach und nach erst herausbildete, sondern als sie von Anbeginn seiner Laufbahn an mit seinen Verhältnissen gegeben war. Ob das ein

Nachtheil für ihn oder für die Wissenschaft war, brauchen wir nicht zu untersuchen, jedenfalls wäre die Entwickelung seiner wissenschaftlichen Persönlichkeit und seiner Theorien, so wie sie nun einmal beschaffen, ohne eine gewisse Abgeschlossenheit nicht möglich gewesen. NEWTON's Lehre von den primitiven, der Materie eingeborenen Kräften, welche die letzten Ursachen aller physikalischen Erscheinungen bilden sollten, war damals so sehr zum Dogma geworden und hatte bis dahin so sehr in ihrer Begründung sich aller Kritik überlegen gezeigt, dass ein in diesen Anschauungen aufgezogener, in der Schule mit ihnen angefüllter Jünger der Wissenschaft kaum jemals oder doch erst in späten Entwickelungsstufen sich derselben hätte entziehen können. Ein mit den übrigen Physikern durch Schulfreundschaft, durch gemeinsame Vereinsthätigkeiten, durch Gönnerschaften, durch gesellschaftliche oder familiäre Bande vielfach zusammenhängender Gelehrte hätte vielleicht kaum den frischen Muth gefunden von der gemeinsamen wissenschaftlichen Grundlage aller seiner Freunde gleich von vornherein ohne weiteres abzusehen, und mindestens hätte er seine abweichenden Anschauungen gleich von vorn herein allgemein in überzeugender Weise begründen, in ihrem Verhältniss zu den herrschenden sorgsam feststellen und den zahlreichen wohl- oder auch übelmeinenden Einwendungen gegenüber sorgsam und achtungsvoll vertheidigen zu müssen.

Durch die Einsamkeit seiner Stellung und die Unabhängigkeit seines Geistes war FARADAY allen diesen nur zeitraubenden Momenten vorerst enthoben. Fast vom Anfange seiner physikalischen Arbeiten an sah er von einer Benutzung der NEWTON-schen Kraftvorstellungen bei der Erklärung der elektischen Erscheinungen ab, und gleich in seiner ersten glänzendsten Abhandlung über die Induction kann man das Auftreten der ihm eigenthümlichen Idee der Kraftlinien bemerken. Aber obgleich er später für seine Person selbst die Schwerkraft in Bezug auf ihre direkte Fernwirkung in Experimenten wenigstens anzuzweifeln sich erlaubte, so hat er doch niemals gegen die alte NEWTON'sche Physik polemisirt, er hat weder die alte Physik angegriffen, noch seine neuen Ideen ihr gegenüber vertheidigt. Er stellte seine Entdeckungen nach seinen Anschauungen, die nur vermittelte Fernwirkungen zuliessen, dar und übergab dieselben ohne Furcht und Zagen der Oeffentlichkeit; aber er versuchte nicht die Annahme seiner Meinung durch den Umsturz des Alten zu beschleunigen und liess es jedem frei, ob er das Neue annehmen wollte oder nicht. FARADAY war nicht ohne Leidenschaft. Er hat sich im Anfange seiner Laufbahn mehrfach gegen Prioritätsuntersuchungen, die seine völlige wissenschaftliche Offenheit anzweifelten, mannhaft vertheidigt und hat auch unberufene wissenschaftliche Dilet-

tanten kräftig abgewiesen, aber einen eigentlich wissenschaftlichen Streit hat FARADAY, ganz unähnlich seinem grossen Landsmann NEWTON, nie geführt, und in wissenschaftlichen Kämpfen hat er seine Kraft und Zeit nicht verbraucht.

Diese Enthaltung FARADAY's von allen wissenschaftlichen Kämpfen, das völlig objective Verhalten des Autors gegenüber seinen eigenen Werken hatte jedenfalls den Vortheil, dass auch von Anderen der Autor und seine Schöpfungen selbst mehr als sonst objektiv beurtheilt und die letzteren bis zu einem gewissen Grade auch von denen günstig aufgenommen wurden, die noch unbedingte Anhänger der Alten blieben, und das war zuerst wohl die bei weitem grösste Zahl der Physiker. FARADAY hat direct keine eigene Schule gegründet, er sah nicht einen Kreis ihm allein ergebener und ihn allein bewundernder Schüler um sich versammelt, die ihrem Propheten zum Ruhme alle Andersdenkenden zu vertilgen drohten, dafür aber haben statt der Menge gerade die bedeutendsten Geister unter den Physikern sich bemüht, seine Ideen weiter zu entwickeln und zu verbreiten, und jetzt Jahrzehnte nach seinem Tode schreibt mit der Elektricität die gesammte Physik FARADAY's Namen auf ihre Fahne.

Gehen wir nach dieser etwas lang gewordenen Schilderung des seltenen Charakters unseres Helden zu einer nur kurz noch möglichen Andeutung des Entwickelungsganges seiner Werke über.

FARADAY war ein explosives Genie; wie er im Anfange der zwanziger Jahre mit einer epochemachenden Entdeckung als Chemiker aufgetreten, so eröffnete er im Anfange der dreissiger Jahre seine physikalische Carriere mit einer Entdeckung ersten Ranges, mit der Entdeckung der Induction galvanischer Ströme. Den dabei verfolgten Gedankengang deutet FARADAY in seiner ersten am 24. November 1831 in der Royal Society gelesenen Abhandlung [1]) in folgender kurzen Weise an: „Die der Reibungselektricität eigenthümliche Fähigkeit, einen entgegengesetzt elektrischen Zustand in ihrer Nähe hervorzurufen, bezeichnet man allgemein mit dem Namen Induction. Da derselbe in die wissenschaftliche Sprache aufgenommen worden ist, so wird er auch in demselben allgemeinen Sinne für die Fähigkeit elektrischer Ströme gebraucht werden können, in den ihnen unmittelbar benachbarten Körpern einen eigenthümlichen, letzteren bis dahin fremden Zustand hervorzurufen. Gewisse In-

[1]) Philosophical Transactions 1831; deutsch in Poggendorff's Annalen XXV, 1832: auch in Experimental-Untersuchungen über Elektricität von M. FARADAY, übersetzt von S. KALISCHER, I. B.d, Berlin 1889, S. 1.

ductionswirkungen elektrischer Ströme, wie die der Magnetisirung, sind auch bereits erkannt und beschrieben worden. Allein es war unwahrscheinlich, dass hiermit die Inductionswirkungen elektrischer Ströme erschöpft sein sollten, besonders deshalb, weil die bisher bekannten fast nur beim Eisen sich zeigen, und somit eine unbegrenzte Anzahl von Körpern übrig blieb, auf welche, obwohl sie der Induction der Spannungselektricität zweifellos unterworfen sind, eine Inductionswirkung der strömenden Elektricität bisher nicht nachgewiesen worden ist. Diese Erwägungen und die daraus geschöpfte Hoffnung, Elektricität durch gewöhnlichen Magnetismus hervorzurufen, haben mich zu verschiedenen Zeiten angeregt, Versuche anzustellen zur Erforschung der Inductionswirkungen elektrischer Ströme. Endlich bin ich zu positiven Resultaten gelangt, und ich sehe nicht nur meine Hoffnung erfüllt, sondern glaube auch einen neuen Zustand entdeckt zu haben, welcher wahrscheinlich in einigen der wichtigsten Wirkungen elektrischer Ströme eine grosse Rolle spielt."

Aus diesen Worten liesse sich schliessen, dass FARADAY's Erwägungen mit der Induction galvanischer Ströme durch Magnete, wie er sagt, mit der Magnetinduction begonnen hätten, in der Aufzählung seiner Versuche indessen geht er von der Induction durch Ströme, der Voltainduction aus. Zur Constatirung einer solchen wickelte er einen 26 Fuss langen und $^1/_{20}$ Zoll dicken Draht um einen Hohlcylinder in Form einer Spirale auf und isolirte die einzelnen Windungen durch dazwischen gelegten dünnen Zwirnfaden. Diese Spirale wurde mit Kaliko bedeckt, und ein zweiter Draht in gleicher Weise darüber gewickelt. Auf diese Weise wurden zwölf Spiralen von durchschnittlich siebenundzwanzig Fuss Drahtlänge, sämmtlich in derselben Richtung gewunden, über einander gelegt. Die Enden der ersten, dritten, fünften, siebenten, neunten und elften dieser Spiralen wurden mit einander verbunden, so dass sie eine einzige Spule bildeten; in ähnlicher Weise wurden die anderen unter sich verbunden, so dass im Ganzen zwei eng in einander eingeschlossene Spulen von je hundert und fünfzig Fuss Drahtlänge erhalten wurden, die in demselben Sinne gewunden waren, ohne sich irgendwo zu berühren. Eine dieser Spulen wurde mit einem Galvanometer verbunden, die andere mit einer VOLTA'schen Säule von zehn vierquadratzölligen Plattenpaaren; allein es konnte gegen alles Erwarten auch nicht die geringste Ablenkung der Galvanometernadel wahrgenommen werden. Aehnliche Spiralen, deren jede sogar 203 Fuss Länge hatte, und durch deren eine der Strom von 100 Plattenpaaren gesandt wurde, zeigten ganz dasselbe Resultat. Solange der Strom ununterbrochen durch die eine Spirale hindurchging, konnte

weder am Galvanometer, noch sonst eine Inductionswirkung auf die andere Spirale wahrgenommen werden. Nur in dem Augenblicke, wo die Kette geschlossen wurde, zeigte sich bei besserer Aufmerksamkeit eine plötzliche, aber sehr schwache Wirkung am Galvanometer, und dasselbe trat ein im Moment der Unterbrechung des Stromes. Eine Wiederholung der Versuche mit einer Batterie von hundert und zwanzig Plattenpaaren brachte keine anderen Wirkungen hervor, aber es wurde hierbei festgestellt, dass die geringe Ablenkung der Nadel im Moment des Stromschlusses stets in einer und derselben Richtung erfolgte und die gleich geringe Ablenkung im Moment der Stromunterbrechung in der entgegengesetzten Richtung.

Da nun Faraday auch mit der Annäherung eines Magneten an eine Kupferdrahtspule ähnliche Resultate erhielt, so nahm er nach längerem Ueberlegen diese momentanen Ablenkungen der Nadel als Wirkungen der Induction an und kam zu dem zuerst befremdlichen Resultate, dass allerdings jeder galvanische Strom in einem nahen geschlossenen Leiter einen anderen Strom inducirt, dass aber dessen Dauer nur eine augenblickliche ist, und dass er mehr den Charakter einer elektrischen Welle, wie sie bei der Entladung einer Leydener Flasche entsteht, als den eines galvanischen Stromes an sich trägt.

Faraday untersuchte hierauf die entdeckten momentanen Inductionsströme nach allen Seiten mit erstaunlichem Scharfsinn und Erfolg. Er stellte fest, dass dieselben wie beim Schliessen und Oeffnen des Stromes auch bei einer Annäherung und Entfernung der Ströme erfolgten, dass ein Magnet beim Annähern und Entfernen ganz diesen Wirkungen wie eine Stromspule nur in etwas längeren Zeiten hervorbrachte, und dass die inducirten Strömungen ganz dieselben Wirkungen wie die primären Ströme hatten, abgesehen von den Wirkungen, die durch die immerwährende Umkehrung der Ströme sich fortwährend aufheben müssen. Die Erklärung der merkwürdigen Erscheinungen aber, dass der inducirte Strom nicht beim ruhigen Fliessen des Stromes, sondern nur bei Zustandsänderungen des inducirenden entsteht, wollte doch nicht vollständig gelingen. Faraday nahm an, dass der sekundäre Draht durch die Wirkung des primären Stromes in einen Zustand versetzt werde, bei dem er die Bildung elektrischer Ströme in sich verhindere, so dass solche Ströme nur zu Anfang und Ende dieses Zustandes entstehen könnten. Doch konnte er besondere Eigenschaften an seinen Leitungsdrähten, die in diesem Zustande sich befanden, nicht entdecken. Faraday nannte diesen Zustand den elektrotonischen, sprach sich aber über die

Natur desselben nicht weiter aus. Am anschaulichsten vergleicht man denselben wohl mit dem Spannungszustande eines Baumes, der vom Winde bis zu einer gewissen Grenze gebogen wird und der zurückschlägt, wenn der Wind aufhört, der also nur zu Anfang und am Ende des Spannungszustandes Bewegungen machen kann. Ohne eine gewisse Spannung ist es auch bei Faraday nicht abgegangen, wenn er auch über den Sitz dieser Spannung, ob innerhalb oder ausserhalb des Drahtes, nie ganz sicher geworden zu sein scheint und öfters geschwankt hat.

Am Ende der ersten Abhandlung macht Faraday noch auf die Möglichkeit von Inductionsmaschinen zur Erzeugung elektrischer Ströme aufmerksam, geht jedoch auf diese technische Frage nicht weiter ein, sondern wendet sich in einer zweiten Abhandlung vom Jahre 1832 [1]) zu der Induction galvanischer Ströme durch den Erdmagneten, wo er zuletzt zu der ganz allgemeinen Behauptung kommt, dass jeder sich bewegende Leiter, der die Kraftlinien der Erde durchschneidet, wie z. B. von Westen nach Osten und umgekehrt fliessendes Wasser, in sich elektrische Ströme zum Fliessen bringen muss. Der Satz zeigt, dass Faraday damals schon die Kraftlinien als hauptsächlichstes Veranschaulichungsmittel elektrischer Fernwirkungen verwandte; noch deutlicher lässt das die folgende Stelle aus jener Abhandlung erkennen [2]): „Wenn ein elektrischer Strom durch einen Draht geht, so ist dieser an allen seinen Theilen von magnetischen Curven (d. h. Kraftlinien) umgeben, deren Intensität sich mit ihrem Abstande vom Draht verringert, und welche man sich als Ringe vorstellen kann, die in Ebenen liegen, welche senkrecht zu dem Draht, oder vielmehr zu dem in ihm fliessenden Strome stehen. Diese Curven, obschon von anderer Gestalt, sind doch vollkommen analog denjenigen, welche zwischen zwei gegenüberliegenden ungleichnamigen Magnetpolen existiren, und wenn ein zweiter Draht dem vom Strome durchlaufenen parallel genähert wird, so durchschneidet er magnetische Curven von genau derselben Art wie diejenigen, welche er beim Hindurchführen zwischen entgegengesetzten Magnetpolen in einer bestimmten Richtung durchschneiden würde, und es müssen also hier wie dort Inductionsströme entstehen."

Faraday discutirt auch in dieser Abhandlung, d. i. im Jahre 1832, schon eine etwaige Verbreitung des Magnetismus oder besser der magnetischen Wirkungen in allen möglichen

[1]) Phil. Trans. 1832; deutsch in Poggendorff's Annalen XXV, 1832; auch in Experimental-Untersuchungen über Elektricität, übersetzt von Kalischer, I. Bd., Berlin 1889, S. 38.
[2]) Experimental-Untersuchungen, I. Bd., S. 60.

Substanzen, kommt aber hier noch zu dem Resultat, dass der Magnet in der Ruhe doch nur auf wenige Stoffe, wie Eisen, Nickel und Kobalt, wirke. Solche Bemerkungen, die auf neue theoretische Anschauungen deuten, stehen hier noch ganz vereinzelt und ohne dass auf eine besondere Bedeutung derselben hingewiesen würde, doch sind sie für den Gang von Faraday's Ideen charakteristisch.

Zunächst kam Faraday im Jahre 1833 [1]) wieder auf die Aehnlichkeit des inducirten Stromes mit der elektrischen Welle aus einer Leydener Flasche zurück, und diese Aehnlichkeit der galvanischen mit der statischen Elektricität liess ihn die Frage nach der Wesensidentität oder Nichtidentität aller der aus verschiedenen Quellen stammenden Elektricitäten zur endgültigen Entscheidung bringen. Er fand, dass die mannigfachen Wirkungen der Elektricität sich auf Anziehungen und Abstossungen, Wärmeentwicklungen, magnetische Einflüsse, chemische Zersetzungen, physiologische Erscheinungen und elektrische Lichtfunken reduciren lassen und probirte nun die unterschiedlichen Arten der Elektricität, die gewöhnliche, die galvanische, die Magnetoelektricität, die Thermoelektricität und die thierische auf ihre Fähigkeiten jene Wirkungen hervorzubringen der Reihe nach durch. „Der allgemeine Schluss, sagt er am Ende dieser Prüfung, welcher, wie ich glaube, aus dieser Summe von Thatsachen gezogen werden muss, ist der, dass alle Elektricität, welcher Quelle sie auch entstammen mag, ihrem Wesen nach identisch ist. Die fünf aufgeführten Formen oder Arten von Phänomenen unterscheiden sich nicht in ihrem Wesen, sondern nur dem Grade nach, und in dieser Beziehung variiren sie je nach den veränderlichen Bedingungen in Quantität und Intensität [2]), welche bei fast jeder der Elektricitätsarten unter sich nach Belieben ebenso stark verändert werden können, als sie sich von Art zu Art ändern."

Diese Erklärung des verschiedenen Verhaltens der verschiedenen Arten der Elektricität durch die Verschiedenheit ihrer Quantitäten und ihrer Spannungen führte zu weiteren Versuchen sichere Methoden des Messens für diese Factoren, besonders die Quantität oder Stromintensität, wie wir jetzt sagen, zu finden. Zu diesem Zwecke stellte Faraday

---

[1]) Phil. Trans. 1833; deutsch in Pogg. Ann. XXIX, 1833; in Experimental-Untersuchungen, I. Bd., Berlin 1889, S. 68.

[2]) Faraday gebraucht den Namen Intensität noch in der von seinem Lehrer Davy (S. 62) angenommenen Bedeutung, er ist also dem modernen Ausdruck Spannung gleich zu setzen.

elektrische Batterien aus verschiedenen Anzahlen gleicher Leydener Flaschen, die er gewissermaassen als Maasseinheiten gebrauchte, zusammen, führte den Entladungsschlag dieser Batterien durch die Windungen eines gewöhnlichen Nadel-Galvanometers, und sicherte die Wirkung des Schlages dadurch, dass er die Geschwindigkeit desselben im Entladungskreis durch Einfügen eines feuchten Fadens verlangsamte. Durch Combinationen verschiedener Anzahlen von Flaschen und Anwendung dünnerer oder dickerer Widerstandsfäden gelangte er zu dem fundamentalen Satze, dass die Ablenkung der Galvanometernadel immer gleich ist, wenn nur dieselbe absolute Quantität von Elektricität durch die Strombahn hindurchgeht, welches auch die Spannung derselben sein mag. Damit aber war ihm auch die Möglichkeit einer Vergleichung der gewöhnlichen und der Galvani'schen Elektricität ihrer Quantität nach gegeben, wenn er nur durch eine Volta'sche Batterie denselben Ausschlag der Galvanometernadel wie durch die Batterie von Leydener Flaschen erzeugte. Auch durch die chemischen Wirkungen wusste Faraday die beiden Elektricitätsarten auf ähnliche Art zu vergleichen. Er führte zu dem Zwecke nur den Galvani'schen Strom und danach den Entladungsschlag der Leydener Batterie durch einen Platindraht, der am Ende zu einem kleinen Kreise zusammengebogen war. Dieser kleine Kreis berührte das oberste von vier übereinandergelegten und mit Jodkaliumlösung getränkten Reagenzpapierstücken, deren unteres auf einem Platinspatel lag, durch den die Elektricität zur Batterie zurückgeführt wurde. Die Gleichheit der Wirkungen schätzte er nach der gleichen Grösse und Farbe des entstehenden Jodfleckes und gelangte so zu dem jenem ersten entsprechenden Satze, dass die chemische ebenso wie die magnetische Kraft der absoluten Quantität der wirksamen Elektricität direct proportional ist. Dass er dabei auf eine ganz ungeheure Verschiedenheit der elektrischen Quantitäten im Galvani'schen Strom und im Entladungsschlage der Leydener Batterie kam, machte ihn nicht irre, da seine Resultate unangreifbar sicher erschienen.

Mit diesen Versuchen war Faraday nun auch bei dem Zusammenhang der elektrischen Kräfte mit der chemischen Affinität, bei der Betrachtung der chemischen Eigenschaften der Elektricität angelangt; einer Betrachtung, die ihm dem ganzen Gange seiner wissenschaftlichen Entwicklung nach besonders interessiren musste, und die auch für seine Auffassung des Verhältnisses der Naturkräfte von besonderer Wichtigkeit wurde. Bevor er aber seine vielfältigen Untersuchungen über die elektrochemischen Zersetzungen vollendete und veröffentlichte, sandte er Untersuchungen über das dabei in Betracht kommende Leitungsvermögen der Körper

und der Flüssigkeiten insbesondere voraus.[1]) Hierin constatirte er den viel besprochenen und viel berufenen Unterschied zwischen der metallischen Leitung der festen Körper und der elektrolytischen Leitung der Flüssigkeiten, wonach in Flüssigkeiten die Elektricität nicht, wie in Metallen, durch die Materie hindurch, sondern nur mit der Materie oder vielmehr mit deren Zersetzungsproducten fliesst und also nicht ohne chemische Zersetzungen geleitet werden kann.

Bei den im Jahre 1833 folgenden Veröffentlichungen über die chemische Zersetzung durch den elektrischen Strom[2]) aber treten nun auch schon Faraday's eigene Ansichten über das Wesen der Naturkräfte, seine Abneigung und seine Ungläubigkeit in Bezug auf jede unvermittelte Wirkung der Körper in die Ferne, jede actio in distans, klarer hervor. Faraday polemisirt nachdrücklich gegen den Ausdruck Pole des elektrischen Stromes und gegen die Ansicht, als ob die Wirkung des galvanischen Stromes auf die Flüssigkeiten, durch welche er hindurchgeht, von einer Anziehung herrühre, die unmittelbar von einem Punkte durch die Flüssigkeit hindurch bis zu einem anderen Punkte wirke. Faraday meint, dass hier weder von einer Anziehung zweier Pole, noch von Polen selbst die Rede sein könne; die Zersetzungen gingen durchaus nicht durch Anziehungen und Abstossungen gewisser Punkte, sondern nur durch ein Aufheben oder Neutralisiren der chemischen Affinitäten in der ganzen Stromlinie vor sich. „Was wir einen elektrischen Strom nennen, sagt er, ist eine Achse von Kraft, die in entgegengesetzter Richtung mit entgegengesetzten Kräften zu absolut gleichem Belauf wirkt. Die elektrische Zersetzung beruht auf einer in der Richtung des elektrischen Stromes ausgeübten, inneren Corpuscular-Attraction, und rührt von einer Kraft her, die entweder hinzugekommen ist, oder der gewöhnlichen chemischen Affinität der vorhandenen Körper bloss Richtung giebt. Ich setze voraus, dass die Wirkung von einer, von der Elektricität verursachten Modification in den chemischen Verwandtschaften bei den Partikeln herrührt, welche Modification darin besteht, dass die chemische Verwandtschaft stärker nach der einen als nach der andern Seite wirkt, und sie (die Partikel) dadurch zwingt, durch eine neue Reihe von neuen Vereinigungen und neuen Trennungen in entgegengesetzter Richtung zu gehen und zuletzt an der Grenze des in Zersetzung befindlichen Körpers ihre Expulsion verursacht."

[1]) Phil. Trans. 1833; deutsch in Pogg. Ann. XXXI, 1834; in Experimental-Untersuchungen, Berlin 1889, Bd. I, S. 99.

[2]) Phil. Trans. 1833; deutsch in Pogg. Ann. XXXII, 1834; in Experimental-Untersuchungen, Berlin 1889, I. Bd., S. 114.

In der Fortsetzung dieser Abhandlung von 1834[1]) gab FARADAY dann auch, um die ihm unpassend erscheinenden alten Namen ganz zu eliminiren, seine neue Terminologie für die Elektrolyse und gründete auf die elektrolytischen Eigenschaften des Stromes ein neues genaues Maassinstrument für die Stromintensität, das Voltameter. Mit Hülfe dieses Instruments verglich er nochmals die elektrischen Kräfte der gewöhnlichen und galvanischen Elektricität und fand abermals für dies Verhältniss so grosse Zahlen, dass er sich fast scheute, dieselben zu nennen; denn zur Zersetzung auch nur eines Grans[2]) Wasser zeigte sich die Entladung von nicht weniger als achthundert grossen Leydener Flaschen nöthig. Gerade diese grossen Zahlen aber mussten ihn dazu führen, in der chemischen Kraft die Quelle der in den Batterien entwickelten Elektricität zu suchen. Der grosse Streit zwischen der Contact- und der chemischen Theorie der galvanischen Elektricität, der seit Jahrzehnten tobte, schien seiner Zeit, nach der Verbesserung der trockenen Säulen, sich zu Gunsten der Contacttheorie zu wenden. FARADAY aber kam, indem er die Effecte der direct wirkenden chemischen Verwandtschaftskräfte von Metallen und Säuren mit den Effecten der durch diese Kräfte erzeugten Elektricitäten verglich, zu der gegentheiligen Ueberzeugung, dass die elektrischen Kräfte nur andere Formen der chemischen seien. Noch in einer Abhandlung ebenfalls von 1834 über die VOLTA'sche Säule[3]) sprach er dieses Resultat mit einer ihm sonst fremden Sicherheit aus. „Alle diese Thatsachen, sagt er dort, zeigen uns, dass die gewöhnlich als chemische Verwandtschaft bezeichnete Kraft mittelst der Metalle und gewisser Kohlenarten in die Ferne übertragen werden kann, dass der elektrische Strom bloss eine andere Form der chemischen Verwandtschaftskräfte ist, dass seine Kraft den ihn erzeugenden chemischen Affinitäten proportional ist, dass mit andern Worten, die als chemische Affinität und Elektricität bezeichneten Kräfte ein und dasselbe sind. Wir haben es, wie es scheint, in vielen Fällen von chemischer Verwandtschaft (wie bei der vom Zink mit dem Sauerstoff des Wassers u. s. w.) bis zu einem gewissen Grade in der Hand, zu entscheiden, welche von den beiden Wirkungsarten der Anziehungskraft ausgeübt werden soll. Bei der einen Art können wir die Kraft fortleiten und sie irgendwo das Aequivalent ihrer Wirkung ausüben lassen, bei der andern wird sie nicht fortgeleitet, sondern

---

[1]) Phil. Trans. 1834; deutsch in Pogg. Ann. XXXIII, 1834; in Experimental-Untersuchungen, Berlin 1889, I. Bd., S. 117.
[2]) 1 Gran ist ohngefähr 0,065 g; zur Zersetzung von 1 g Wasser würden also ohngefähr 12 462 jener Flaschen nöthig sein.
[3]) Phil. Trans. 1835; deutsch in Pogg. Ann. XXXV, 1835; in Experimental-Untersuchungen, I. Bd., Berlin 1889, S. 235.

äussert sich ganz und gar an dem Entstehungsorte. Das erste ist der Fall der voltaelektrischen Erregung, das andere der gewöhnlichen chemischen Verwandtschaft, aber beide stammen von einem Princip her."

Nach dieser Abhandlung von 1834 über die VOLTA'sche Säule aber springt plötzlich das Thema von FARADAY's elektrischen Abhandlungen scheinbar ganz unmotivirt wieder zurück auf die Inductionserscheinungen; doch lässt sich bei mehrerem Zusehen auch hier der Zusammenhang erkennen. Die chemischen Kräfte sind sicher keine fernwirkenden, sondern nur vermittelt, von Molecül zu Molecül, sich fortpflanzende Kräfte; sind dieselben mit den elektrischen identisch, so muss man wohl annehmen, dass auch diese letzteren nur vermittelt durch das Zwischenmedium in die Ferne wirken. Als ein äusseres Unterscheidungszeichen der vermittelt oder unvermittelt in die Ferne wirkenden Kräfte giebt FARADAY vor Allem die gradlinige oder krummlinige Fortpflanzungsart derselben an. Die offenbarste elektrische Fernwirkung, die man fast von ihrem ersten Bekanntwerden nur als eine unvermittelte actio in distans angesehen hatte, war die elektrische Influenz, und diese musste darum zu allererst auf das angedeutete Kennzeichen hin untersucht werden.

Die Vollendung der Untersuchungen nahm diesmal längere Zeit als sonst in Anspruch und ihre Veröffentlichung erfolgte erst im Jahre 1838 [1]), dementsprechend aber zeigen die Ideen FARADAY's über die Natur der elektrischen Kräfte nun auch wieder einen sehr bedeutenden Fortschritt. „Die Elektricitätslehre, so heisst es jetzt, befindet sich in einem Stadium, in welchem alle ihre Theile eine experimentelle Untersuchung verlangen. Den Physikern, welche der Forschung mit Eifer, aber auch mit Bedächtigkeit obliegen, welche bei dem Experiment die Analogie nicht ausser Acht lassen, gegen ihre vorgefassten Meinungen auf der Hut sind, sich mehr vor einer Thatsache als vor einer Theorie beugen, nicht überall verallgemeinern und vor Allem bereit sind, bei jedem Schritte ihre Meinungen durch Ueberlegung und Versuche immer wieder durchzuprüfen, kann kein Zweig der Wissenschaft ein schöneres und ergiebigeres Entdeckungsfeld bieten als dieses. Chemie und Magnetismus haben nach einander ihren überwiegenden Einfluss anerkannt und wahrscheinlich werden schliesslich alle Erscheinungen der Kräfte der unorganischen Natur und vielleicht auch die meisten des Pflanzen- und Thierlebens sich ihr untergeordnet erweisen. Unter den mannigfachen Wirkungen

---

[1]) Phil. Trans. 1838 (gelesen 21. Dec. 1837); deutsch in Pogg. Ann. XLVI, 1838; in Experimental-Untersuchungen, I. Bd., Berlin 1889, S. 323.

der Elektricität, die man herkömmlich unterscheidet, ist, glaube ich, keine, welche an Wichtigkeit überragt, oder auch nur gleichkommt derjenigen, welche man Induction nennt. Ihre Erforschung ist so wichtig, dass wir, wie ich glaube, ohne eine tiefere Einsicht in ihre Natur in der Erforschung der Elektricitätsgesetze nicht weiter vordringen können."

Diese Induction, und zwar vorerst die elektrostatische Induction oder Influenz, wird dann vor Allem nach zwei Seiten hin untersucht, erstens, wie schon bemerkt, danach, ob die Induction in graden oder krummen Linien geschieht und zweitens danach, ob das Zwischenmedium zwischen dem inducirenden und dem inducirten Körper auf die Induction von Einfluss ist oder nicht. Was das erstere Moment betrifft, so hielt FARADAY die krummlinige Verbreitung der Induction schon dadurch für erwiesen, dass er beobachtete, wie die Induction direct hinter einem Schirm aus leitender Substanz, der vor den elektrisirten Körper gesetzt wurde, sich unmerklich, etwas weiter hinter dem Schirm aber oder nahe dem Rande desselben von merklicher Grösse zeigte. Zu der Entscheidung der zweiten Frage war schon die Thatsache genügend, dass leitende Körper Inductionswirkungen gegenüber sich undurchlässig erweisen. Zur genaueren Untersuchung aber des Einflusses nicht leitender Medien oder der Dielectrica, wie FARADAY dieselben, weil sie die Inductionsstrahlen durchlassen, nannte, baute er sich kugelförmige Apparate mit doppelten Wänden, die im Wesentlichen Leydener Flaschen waren, bei denen er aber den Zwischenraum zwischen den beiden Belegungen statt mit Glas mit allen möglichen Nichtleitern, auch mit beliebigen Gasen, ausfüllen konnte. Von diesen Apparaten gebrauchte er bei seinen Untersuchungen der Vergleichung wegen immer gleichzeitig zwei ganz gleiche Exemplare, die nur durch die zwischen den Belegungen befindlichen Füllungen sich unterschieden. Er lud zuerst den einen Apparat, theilte diese Ladung zwischen den beiden Apparaten und untersuchte dann mit Hülfe eines Probescheibchens und der COULOMB'schen Drehwaage die nun auf jedem Apparat vorhandenen Ladungen. Waren beide Apparate in gleichem Zustande, so halbirte sich bei jeder Theilung die Ladung. War aber der erste Apparat mit atmosphärischer Luft gefüllt, der zweite zur Hälfte mit Schellack ausgegossen, so fand FARADAY bei einer Ladung der Luftflasche, welche 290 Graden der Drehwaage proportional war, nach der Theilung auf jeder der inneren Kugeln zwar die gleiche Ladung, aber nur proportional einer Grösse von 114 Grad. Der scheinbare Verlust an Elektricität konnte nur von einer Bindung derselben durch die Schellacklagen des zweiten Apparats oder vielmehr von einer stärkeren bindenden Kraft dieser Substanz als der Luft herrühren. Da nun weitere zahl-

reiche Versuche die Verschiedenheit der Elektricität bindenden Kraft oder des specifischen Inductionsvermögens für verschiedene Substanzen bestätigte, so schloss FARADAY wieder, dass die elektrische Influenz von dem Medium abhängig sei und also auch darum nicht als eine unvermittelte Fernwirkung angesehen werden dürfe.[1])

„Sonach scheint die Induction, sagt dann FARADAY resumirend am Schlusse der Abhandlung, im Wesentlichen eine Wirkung aneinanderstossender Theilchen zu sein, durch deren Vermittelung die an einem bestimmten Orte entstehende Kraft in krummen Linien bis zu einer gewissen Entfernung fortgepflanzt wird, wo sie als eine Kraft derselben Art von genau gleichem Betrage, aber von entgegengesetzter Richtung und Tendenz erscheint. Die directe Inductionskraft, welche, wie man sich vorstellen kann, in Linien zwischen den beiden geladenen, begrenzenden Leiterflächen ausgeübt wird, ist von einer lateralen oder transversalen Kraft begleitet, welche einer Verschiebung oder Abstossung dieser Linien äquivalent ist, oder es ist die Anziehungskraft zwischen den Theilchen des Dielectriums in der Richtung der Induction begleitet von einer Abstossungs- oder Divergenzkraft in transversaler Richtung. Die Ausdrücke Linien der Inductionskraft und krumme Kraftlinien habe ich dabei bloss in einem allgemeinen Sinne gebraucht, ebenso wie wir von magnetischen Kraftlinien reden. Die Linien sind fingirt, und die Kraft an irgend einem Orte derselben ist die Resultante von Componenten, die sich aus den Relationen eines jeden Molecüls zu jedem anderen Molecül durch die Spannung und Reaction der an sie in allen Richtungen angrenzenden ergeben. Die Transversalkraft ist nichts Anderes als eine solche, quer zu den Linien der Inductionskraft vorgestellte Relation, und vorläufig verstehe ich nichts weiter unter diesem Ausdruck. Was ich im Augenblick ängstlich zu vermeiden wünsche, ist, dass man den von mir gebrauchten Ausdrücken eine speciellere Bedeutung beilege, als ich beabsichtige. Fernere Untersuchungen werden, hoffe ich, uns allmählich in den Stand setzen, den Sinn derselben mehr und mehr einzuschränken. Endlich kann ich nicht umhin auszusprechen, dass ich meine eigene Ansicht mit Zweifel und Besorgnis, ob sie einer allgemeinen Prüfung Stand halten werde, vorgebracht habe. Ich habe sie lange mit mir herumgetragen, aber ich zögerte, sie zu veröffentlichen, bis die wachsende Ueberzeugung von ihrer Uebereinstimmung mit allen bekannten That-

---

[1]) Vergl. ROSENBERGER, Geschichte der Physik, III. Theil. S. 293.

sachen, und die Art, wie sie offenbar sehr verschiedenartige Effecte mit einander verknüpfte, mich antrieb, die vorliegende Abhandlung zu schreiben. Bis jetzt sehe ich keine Unverträglichkeit zwischen ihr und der Natur, sondern glaube vielmehr, dass sie in erheblichem Maasse neues Licht auf die Wirkungsart derselben werfen wird."

Die weitere Untersuchung des Einflusses des Zwischenmediums auf alle elektrischen Erscheinungen führte zu neuen wesentlichen Aufgaben. Durch die Induction wird in dem Dielectricum ein Spannungszustand hervorgerufen, der mit seinem Wachsen endlich eine Entladung bewirkt, die in ihrer Beschaffenheit wieder vom Dielectricum abhängig ist, und die nach dieser Richtung hin nun weiter erforscht werden musste. FARADAY bezeichnet mit Entladung jede Fortbewegung der Elektricität und unterscheidet danach vier Arten derselben: die Entladung durch Leitung, durch Elektrolyse, durch Funken, und durch Convection.[1]) Besonders interessant erscheint unter diesen die disruptive oder Funkenentladung, weil sie besonders auffällig ist und mannigfaltig durch das Dielectricum modificirt wird. FARADAY untersuchte diese Entladung unter den verschiedensten Umständen im luftverdünnten oder mit den verschiedensten Gasen erfüllten Raume[2]) und gab dadurch seit HAWKSBEE zum ersten Male wieder den Anstoss zu der Beobachtung dieser Entladungserscheinungen. Besonders merkwürdig erschien dabei eine neue, noch nicht beobachtete Form, die FARADAY unter dem Namen der dunklen Entladung beschrieb. „Zwei Messingstäbe von 0,3 Zoll Dicke wurden von den gegenüberliegenden Seiten her luftdicht in eine Glaskugel eingelassen und mit ihren Enden in Berührung gebracht, während die Luft in der Kugel stark verdünnt war. Nun liess man eine elektrische Entladung aus der Maschine durch sie hindurchgehen, und während diese fortfuhr, trennte man die Enden der Stäbe von einander. Im Moment der Trennung erschien auf dem Ende des negativen Stabes ein andauerndes Glimmen, während das positive Ende ganz dunkel blieb. Bei Vergrösserung der Entfernung erschien ein purpurfarbener Streif oder Nebel auf dem Ende des positiven Stabs, und schritt auswärts direkt auf den negativen Stab los, er verlängerte sich bei Vergrösserung des Zwischenraums, vereinigte sich aber nie mit dem negativen Glimmlichte, vielmehr blieb immer ein kurzer dunkler Raum dazwischen übrig."

---

[1]) Phil. Trans. 1838; deutsch in Pogg. Ann. XLVII, 1839; auch in Experimental-Untersuchungen, I. Bd., Berlin 1889, S. 376.
[2]) Phil. Trans. 1838; deutsch in Pogg. Ann. XLVIII, 1839; auch in Experimental-Untersuchungen, I. Bd., Berlin 1889, S. 423.

Faraday erwartete noch grosse Dinge von einem weiteren Studium dieser Entladungserscheinungen, besonders auch für die Erkenntniss der Eigenschaften des Vacuums. Er beanspruchte zwar nicht, über die hinsichtlich eines Vacuums sich ergebenden Consequenzen jetzt schon zu entscheiden, aber er meinte doch festgestellt zu haben, dass alle elektrischen Phänomene, wie Induction, Leitung, Isolation und Entladung bedingt sind und hervorgerufen werden durch die Wirkung aneinander stossender materieller Theilchen, deren jedes polarisirt werden und durch Vermittelung wieder der anstossenden Theilchen auch in die Ferne wirken kann.

Hiermit war aber im Jahre 1838 erst die eine Hälfte der hierhergehörigen Aufgaben erledigt. Alle die über die Induction erhaltenen wichtigen Resultate bezogen sich auf statische Elektricität, jetzt blieb die Anwendung der neuen Ideen auf die Volta-Induction und die Verbreitung der magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes im Raum übrig, wenn eine solche Anwendung wirklich möglich war, was noch keineswegs feststand. „Ich glaube, sagt Faraday noch am Ende der letzterwähnten Abhandlung, die hypothetische Frage lässt sich gegenwärtig so formuliren: Können Betrachtungen, wie die obigen (über die mittelbare Fortpflanzung der Wirkungen der statischen Induction) auch die Transversalwirkung elektrischer Ströme erklären? Stehen vielleicht auch zwei solche Ströme bloss durch den Inductionszustand der zwischen ihnen befindlichen materiellen Theilchen in Beziehung zu einander? Wenn ein Strom entsteht, so sucht er in aller ihn umgebenden Substanz einen Strom von entgegengesetzter Richtung hervorzurufen, und wenn diese Substanz Leitungsfähigkeit besitzt und sich sonst unter geeigneten Bedingungen befindet, so entsteht ein solcher Strom. Wenn dagegen der ursprüngliche Strom unterbrochen wird, so sucht er rings um sich her einen ihm gleichgerichteten Strom zu erregen, der auch in leitenden Substanzen unter geeigneten Bedingungen wirklich erregt wird. Ist es nicht doch eine wahrscheinliche Hypothese, dass auch nicht leitende Materie (das Dielectricum) ihre Beziehungen zu der störenden Ursache habe und eine, wenn auch noch nicht aufgefundene, Einwirkung von ihr erleide; und um so wahrscheinlicher, als sich ja gezeigt hat, dass das Verhalten von Leitern und Nichtleitern nicht der Art, sondern nur dem Grade nach verschieden ist?“

Damit concentrirte sich nun das Interesse auf die Untersuchung des Verhältnisses der Kräfte der statischen Induction, die in der Richtung vom inducirenden zum inducirten Körper durch Vermittelung aller Zwischentheilchen wirken und der magnetischen Kräfte benachbarten Ströme, die senkrecht zur Richtung dieser letzteren thätig sind. Beide sind im Gegen-

satz zur Schwere polare Kräfte; ist es nicht wahrscheinlich, dass wenigstens alle polaren Kräfte in gleicher Weise, nämlich vermittelt durch alle Zwischentheilchen, in die Ferne übertragen werden? Faraday spricht sich hier schon direkt für die letztere Ansicht aus, weil bei polaren Kräften ja jede Kraft die entgegengesetzte immer nahe bei sich findet und entwickelt und daher keine Gelegenheit hat, sie in der Ferne zu suchen. Leider kam er selbst um diese Zeit bei Versuchen über die Vermittelung der magnetischen Wirkungen durch Zwischentheilchen noch zu wenig günstigen Resultaten.

Faraday war bis dahin in schnellem Laufe vorwärts gedrungen. Er hatte fast alle elektrischen Erscheinungen im Wesen einander genähert. Er hatte gezeigt, dass alle verschiedenen Erregungen nur eine Elektricität liefern und dass alle Entladungen der Elektricität nur durch das Dielektricum differentiirt werden. Er hatte den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern insofern aufgehoben, als er zeigte, dass beide nur graduell dadurch verschieden sind, als sie für die Fortbewegung der Elektricität in ihnen verschiedene Spannungen gebrauchen und er hatte die freie und gebundene Elektricität auf eine Art, nämlich die gebundene, reducirt, indem er nachwies, dass auch die sogenannte freie Elektricität in ihrer Umgebung immer die entgegengesetzte Art von Elektricität inducière und sich mit dieser binde. Und endlich hatte er nach diesen Erfolgen sogar die Einheit aller Naturkräfte und das Vorhandensein eines festen Umwandlungsverhältnisses für wahrscheinlich erklärt, freilich mit einer vorläufigen Ausschliessung aller nichtpolaren Kräfte, wie der Schwere. Nur eine der polaren Kräfte widerstand ebenfalls noch hartnäckig dieser Identificirung mit den andern, dass war die Inductionskraft der galvanischen Ströme. Mit ihr war Faraday an den schwersten Punkt seiner Arbeiten angekommen und sein wissenschaftlicher Siegeslauf brach jetzt auf eine ganze Reihe von Jahren ab; erst im Jahre 1846 konnte er die Abhandlung[1]) veröffentlichen, welche bewies, dass seine Ideen von der mittelbaren Verbreitung auch der magnetischen Kräfte, d. h. von einer Möglichkeit der Magnetisation des Dielectricums, nicht ein Gebilde ausschweifender Phantasie, sondern eine der fruchtbarsten wissenschaftlichen Hypothesen gewesen sei.

Faraday gebrauchte zum Nachweis dieser Magnetisation die optischen Erscheinungen. Das Licht einer Argand'schen Lampe[2]) wurde in einem Polarisationsapparat durch irgend eine durchsichtige Substanz geleitet und das Nicol'sche Prisma so eingestellt, dass das Licht vollständig ausgelöscht wurde.

---

[1]) Phil. Trans. 1846; deutsch in Pogg. Ann. LXVIII, 1846.
[2]) Vergl. Rosenberger, Geschichte der Physik, III. Theil, S. 298.

Liess man dann magnetische Kräfte auf die durchsichtige Substanz wirken, so wurde der vorher ausgelöschte Strahl im NICOL wieder sichtbar, und um die Stellung der grössten Dunkelheit wieder zu erreichen, musste der NICOL um ein gewisses Maass gedreht werden. Die Grösse der Drehung schien der Länge der durchlaufenen, durchsichtigen Substanzen und der Stromintensität direkt proportional zu sein, mit Umkehrung der magnetischen Polarität kehrte sich auch die Richtung der Drehung der Polarisationsebene um. Da bei genügender Stromstärke alle durchsichtigen Substanzen diese Erscheinung zeigten, so hielt FARADAY den Einfluss des Magneten auf alle Substanzen für gesichert und ging dazu über, diesen Einfluss auch direkt durch Bewegungen nachzuweisen. Er benutzte zu diesem Zwecke [1]) zuerst wieder sein gewöhnliches, schweres Glas und fand, indem er dasselbe leicht beweglich vor dem Pole eines sehr starken Elektromagneten aufhing, dass es von diesem abgestossen wurde. Ein längeres Stück dieses Glases stellte sich zwischen den beiden Polen eines hufeisenförmigen Elektromagneten aber nicht parallel, sondern senkrecht zu der Achse desselben ein. Eine weitere Prüfung der verschiedenartigsten Körper bewies dann weiter, dass alle bekannten festen oder flüssigen Substanzen bei genügender Stärke des Magneten von demselben beeinflusst werden, und zwar so, dass sie entweder von den beiden Polen angezogen oder von beiden abgestossen werden. Doch war dabei wahrscheinlich, dass die Abstossung der sogenannten diamagnetischen Körper nur herrühre von einer geringeren Stärke ihres Magnetismus gegenüber dem Magnetismus des sie umgebenden Mediums. Diese Untersuchung forderte die Untersuchung des magnetischen Verhaltens der Gase. [1]) Nach vielerlei Versuchen, bei denen FARADAY die Gase in Röhren eingeschlossen, aber mehr die magnetischen Eigenschaften der letzteren als der ersteren beobachtet hatte, kam er auf den Gedanken, die Gase zwischen den Polen des Magneten frei ausströmen zu lassen und dieselben, wenn sie nicht gefärbt waren, durch Dämpfe von Ammoniak und Salzsäure sichtbar zu machen. Natürlich erhielt er auch hierbei nicht die magnetischen Wirkungen eines Gases allein; aber er hatte es doch immer nur mit den Differenzen der Wirkungen zweier Gase zu thun. FARADAY fand so, dass von allen Gasen nur der Sauerstoff gegen die atmospärische Luft magnetisch war, während die anderen Gase gegen die Luft sich diamagnetisch verhielten; gegen Kohlensäure zeigten sich Sauerstoff, atmosphärische Luft, Stickstoffoxyd etc. magnetisch. Entsprechende Resultate erhielt FARADAY später auch da-

---

[1]) Phil. Trans. 1846; Pogg. Ann. LXIX u. LXX.
[2]) Phil. Trans. 1848; Pogg. Ann. LXXIII.

durch, dass er Seifenblasen mit den zu untersuchenden Gasen füllte und dieselben zwischen die Pole seiner Elektromagneten brachte.

Der beobachtete Zusammenhang zwischen Elektricität, Magnetismus und Licht führte aber noch etwas weiter und liess vermuten, dass die Verbreitung des Magnetismus in Krystallen, wie die Fortpflanzung des Lichtes in denselben, nach verschiedenen Seiten eine verschiedene sein werde. FARADAY fand in der That[1]), dass künstlich krystallisirtes Wismuth sich nicht wie sonst diamagnetisch, sondern so richtete, dass seine Hauptspaltungsfläche der Magnetachse parallel war. Aehnliche magnetische Erscheinungen, die ebenfalls nicht, wie die para- und diamagnetischen durch die äussere Form, sondern nur durch die krystallographischen oder optischen Achsen bedingt sind, zeigten sich dann auch an anderen Stoffen, wie Antimon, Arsen etc., und FARADAY erfand für diese neuen, nicht mehr magnetisch anziehenden, sondern nur richtenden Kräfte auch einen neuen Namen, den der Magnekrystallkräfte.

Mit diesen Arbeiten, die bis zum Jahre 1849 reichten, meinte FARADAY nun alle Instanzen, welche etwa noch gegen eine nur mittelbare Wirkung der polaren Kräfte in die Ferne sprechen, weggeräumt zu haben und fühlte sich dadurch verpflichtet, auch die Schwere in Bezug auf eine solche Eigenschaft zu untersuchen; leider hatten die Versuche nur einen negativen Erfolg.[2]) FARADAY selbst fühlte indessen durch diesen Misserfolg, wie er sagt, seinen Glauben an das Vorhandensein eines Zusammenhanges zwischen Elektricität und Schwere und damit der Wesenseinheit aller Naturkräfte nicht erschüttert, sondern nahm daraus nur Veranlassung, seine Anschauungen über die Art der Wirksamkeit der polaren Naturkräfte und ihrer Verbreitung im Raum etwas zusammenhängender als früher darzustellen. Diese Veröffentlichungen, welche in den Jahren 1852 und 1855 in der bekannten Zeitschrift Philosophical Magazine[3]) erschienen und die alle nur

---

[1]) Phil. Trans. 1849; Pogg. Ann. LXXVI.

[2]) Phil. Trans. 1851; Pogg. Ann. Ergänzungsband III, 1853.

[3]) Phil. Mag., 4. Ser., III, 1852, p. 401–428: On the Physical Character of the Lines of Magnetic Forces. Phil. Mag., 4. Ser., IX, 1855, p. 81—113: On some Points of Magnetic Philosophy. FARADAY's elektrische Untersuchungen waren bis dahin in den Philosophical Transactions of the Royal Society veröffentlicht worden. Den Grund, warum die obigen letzten Reihen, die doch fortlaufend nach denen in den Phil. Trans. enthaltenen paragraphirt waren, nur in dem Phil. Mag. erschienen, giebt FARADAY selbst am Anfange der ersten Abhandlung mit den charakteristischen Worten an: „The following paper contains so much of a speculative and hypothetical nature, that I have thougt it more fitted for the pages of the Philosophical Magazine than of the Philosophical Transactions.“

über die magnetischen Kraftlinien und ihren physikalischen Charakter handeln, bilden die letzten wissenschaftlichen Veröffentlichungen Faraday's. Mit ihnen war seine so grosse wissenschaftliche Energie erschöpft, sie sind das letzte Vermächtniss des Genies.

Bis dahin hatte Faraday seine Kraftlinien nur als geometrische Constructionen charakterisirt, welche die Bestimmung der Richtung und Intensität der Kraft anschaulich ermöglichen sollten, über deren Wirklichkeit er aber sich nicht weiter auszulassen brauche. Ietzt aber, nachdem er das letzte Hinderniss entfernt glaubte, sprach er die reale Existenz dieser Kraftlinien als mindestens höchst wahrscheinlich aus und legte ihnen ausdrücklich neben ihrem geometrischen Charakter auch einen physikalisch-materiellen bei.

Ueber das Hypothetische dieser Aussprüche war er als sicherer Experimentalphysiker vollkommen klar, aber er hatte auch, weiterschauend als mancher seiner Mitexperimentatoren, den Nutzen solcher Hypothesen völlig erkannt. „Man darf, sagt er im Anfange der ersten dieser Abhandlungen [1]), keinen Augenblick glauben, dass Spekulationen dieser Art in den Naturwissenschaften unnütz oder nothwendigerweise schädlich sind. Sie müssen allerdings immer als zweifelhaft und dem Irrthum und dem Wechsel unterworfen angesehen werden, aber sie sind wundervolle Hilfsmittel in den Händen des Experimentators und Mathematikers; sie sind nicht allein nützlich, wenn einer unbestimmten Idee eine etwas bestimmtere Form gegeben werden soll, damit dieselbe dem Experiment und der Rechnung unterworfen werden kann, sie führen auch durch Deductionen und Correctionen zur Entdeckung neuer Erscheinungen und bewirken so ein Wachsthum und ein Fortschreiten der realen physikalischen Erkenntniss, die, ungleich der zu ihr führenden Hypothese, wirkliche, dem Wechsel nicht unterworfene Wissenschaft wird. Wer kennt nicht den auffallenden

---

[1]) Phil. Mag., 4. Ser., III, 1852, p. 402: „It is not to be supposed for a moment, that speculations on this kind are useless, or necessarily hurtful, in natural philosophy. They should ever be held as doubtful, and liable to error and to change; but they are wonderful aids in the hands of the experimentalist and mathematician; for not are they useful in rendering the vague idea more clear for the time giving it something like a definitive shape, that it may be submitted to experiment and calculation; but they lead on, by deduction and correction, to the discovery of new phaenomena, and so cause an increase and advance of real physical truth, which unlike the hypothesis, that led to it, becomes fundamental knowledge not subject to change. Who is not aware of the remarkable progress in the development of the nature of light and radiation in modern times, and the extent to which that progress has been aiden by the hypotheses both of emission and undulation? Such considerations form my excuse for entering now and then upon speculations.“

Fortschritt in der Entwicklung der Optik in unserer Zeit und wer verkennt die Hilfe, die dabei die Hypothesen der Emission und Undulation geleistet haben? Solche Betrachtungen mögen mich entschuldigen, wenn ich dann und wann auch auf Hypothesen eingehe."

Faraday versuchte den Beweis für den physikalischen Charakter der Kraftlinien vor Allem durch die Krümmung derselben, die Möglichkeit sie abzulenken, die Begrenztheit ihrer Wirkungen auf bestimmte Massen u. A. zu geben und sah auch den Beweis, wenigstens als einen Wahrscheinlichkeitsbeweis, für erbracht an. Trotzdem liess er sich nicht darauf ein, die Art ihres substantiellen Charakters noch bestimmter festzustellen, vielmehr bezeichnete er es gerade als einen Vortheil seiner Anschauungen, dass man sich die reale Beschaffenheit der Linien auf verschiedene Art denken könne. „Es giebt, sagt er am Anfange der zweiten der obigen Abhandlungen[1]), gegenwärtig zwei oder besser drei allgemeine Hypothesen über die physikalische Natur der magnetischen Aktion. Die erste ist die des Aethers und seiner Strömungen, die Euler in einfacher Weise in seinen Briefen für Nichtmathematiker weiter auseinandergesetzt hat; danach bewegt sich der Aether oder die magnetische Flüssigkeit in Strömen durch die Magnete und ebenso durch den Raum und die Substanzen, welche jenen umgeben. Die zweite Hypothese ist die der zwei magnetischen Flüssigkeiten, die in allen magnetischen Körpern an den Polen aufgehäuft vorhanden sind und Attractionen und Repulsionen auf Theile beider Flüssigkeiten auf die Entfernung hinaus üben. Die letzte Hypothese ist von Ampère, bei welcher die Existenz von elektrischen Strömen rund um die einzelnen Partikel der Magnete angenommen wird, welche Ströme aus der Ent-

[1]) Phil. Mag., 4. Ser., IX, 1855, p. 81: There are at present two or rather three general hypotheses of the physical nature of magnetic action. First that of aethers, carrying with it the idea of fluxes or currents, and this Euler has set forth in a simple manner to the unmathematical philosopher in his Letters, — in that hypothesis the magnetic fluid or aether is supposed to move in streams through magnets and also the space and substances around them. Then there is the hypothesis of two magnetic fluids, which being present in all magnetic bodies and accumulated at the poles of a magnet, exert attractions and repulsions upon portions of both fluids at a distance ... Lastly, there is the hypothesis of Ampère, which assumes the existence of electrical currents round the particles ... My physico-hypothetical notion does not go so far in assumption as the second and third of these ideas, for it does not profess to say how the magnetic force is originated or sustained in a magnet, it falls in rather with the first view, yet does not assume so much. Accepting the magnet as a centre of power surrounded by lines of force, which, as representants of the power, are now justified by mathematical analysis, it views these lines as physical lines of power, essential both to the existence of the force within the magnet, and to its conveyance to, and exertion upon magnetic bodies at a distance.

fernung auf die anderen Partikel wirken, die von gleichen Strömen umflossen sind . . . Meine physikalisch-hypothetische Meinung geht in den Annahmen nicht so weit wie die zweite und dritte jener Ideen, denn ich unternehme nicht zu sagen, wie die magnetische Kraft in einem Magneten erzeugt und unterhalten wird; sie stimmt eher mit der ersten überein, aber bleibt auch in den Annahmen noch hinter ihr zurück. Ich nehme den Magneten als ein Kraftcentrum, das von Kraftlinien umgeben ist, welche in ihrer Darstellung der Kraft durch die mathematische Analysis bestimmt sind, und ich halte diese Linien als physikalische Linien für wesentlich sowohl für das Sein der Kraft in dem Magneten als auf die Fortpflanzung und Wirkung derselben ausserhalb des Magneten."

Diese Materialisation der Kraftlinien aber brachte Faraday in den stärksten Gegensatz zu den fundamentalen Anschauungen der herrschenden Naturwissenschaft über Raum und Materie. Die Kraftlinie ist ein continuirliches Gebilde, das zwar einzelne Punkte enthält, aber doch nicht endlich aus ihnen zusammengesetzt ist. Niemals darf man die Kraft nur an einen sogenannten physikalischen Punkt gebunden denken, von dem aus dieselbe unvermittelt ihre Wirkungen auf entfernte Körper übt, sondern jede Kraft ist eine Kraftaxe oder Kraftlinie, die überall da auch physikalisch existirt, wo sie eine Wirkung ausübt. Die Kraftlinien eines leuchtenden Körpers sind die Lichtstrahlen, die von ihm ausgehen, die eines warmen Körpers die Wärmestrahlen; die Magnetkraftlinien werden durch Eisenfeile angezeigt, welche man auf und um den Magneten streut. Aber auch die Kraftlinien selbst dürfen im Raum nicht vereinzelt gedacht werden. Da die Kraft im ganzen Raume lückenlos thätig ist, so müssen auch die Kraftlinien den Raum stetig erfüllen und eine physische Existenz der Kraftlinien setzt eine continuirliche Erfüllung des Raumes absolut voraus. Wirklich hat Faraday auch schon seit dem Jahre 1844 begonnen, in einzelnen Vorträgen in der Royal Institution die Schwierigkeiten der Atomtheorie blosszulegen, und ist dabei sogar bis zu der ganz radikalen Vorstellung von einer Materialität des continuirlichen Raumes gekommen. Diesen materiellen Raum, der in ganz natürlicher Weise zum eigentlichen Sitze aller Kraftwirkung wird, muss man sich wohl aus ganz gleichartiger continuirlicher Masse bestehend denken und die eigentliche körperhafte Materie bildet dann, wenn sie überhaupt noch in alter Weise für sich bestehend gedacht werden soll, mehr Kraftlücken in diesem Raume als, wie man das früher annahm, den eigentlichen Sitz der Kraft. Faraday hat nichts dagegen, wenn man diesen materiellen Raum mit einem ihn continuirlich erfüllenden Aether identificiren will; denn der Name thut nichts zur

Sache und er selbst hält es für mehr als wahrscheinlich, dass, wenn es überhaupt einen Aether giebt, dieser noch andere Verwendung habe als die blosse Fortführung des Lichts.

Besonders in einem Vortrage „über die elektrische Leitung und die Natur der Materie“[1]) hatte sich FARADAY eingehend mit solchen Ideen beschäftigt. „Die, wie ich glaube, jetzt vorherrschende Ansicht, sagt er da, ist die, welche das Atom als etwas Materielles von einem gewissen Volumen ansieht, dem von allem Anfang an die Kräfte eingepflanzt seien, vermöge welcher, wenn viele Atome in Gruppen zusammentreten, die verschiedenen Substanzen gebildet werden, deren Wirkungen und Eigenschaften wir beobachten. Diese Atome, obschon sie durch ihre eigenen Kräfte gruppirt und zusammengehalten werden, berühren einander nicht, sondern haben Raum zwischen sich, da sich sonst ein Körper nicht durch Druck oder Abkühlung zu einem kleineren Volumen zusammenziehen oder durch Wärme und Spannung zu einem grösseren ausdehnen könnte. Die Atomtheorie wird in unserer Zeit auf diese oder jene Weise vielfach angewandt, aber man unterscheidet sie nicht mit solcher Sorgfalt von Thatsachen, dass sie nicht dem Lernenden als ein Ausdruck der Thatsachen selbst erscheint, wiewohl sie im besten Falle nur eine Hypothese ist, deren Wahrheit wir nicht darthun können, was wir auch von ihrer Wahrscheinlichkeit sagen oder denken mögen. Allein es ist immer sicher und philosophisch, Thatsache von Theorie soviel als möglich zu unterscheiden. Die Erfahrungen vergangener Zeiten lehren uns genügend die Weisheit eines solchen Vorgehens, und wenn man bedenkt, dass der Geist die Neigung hat, sich bei einer Annahme zu beruhigen und, wenn sie den augenblicklichen Zwecken genügt, zu vergessen, dass sie eben eine Annahme sei, so sollten wir dessen eingedenk sein, dass sie in solchen Fällen zu einem Vorurtheil wird und unvermeidlich die Klarheit des Urtheils mehr oder weniger trübt. Wenn die atomistische Ansicht von der Constitution der Materie als richtig angenommen wird, und wenn ich von den materiellen Theilchen und dem Raum zwischen ihnen als von zwei verschiedenen Dingen reden darf, so muss der Raum als das einzige Continuum aufgefasst werden, da die Theilchen als durch den Raum voneinander getrennt angesehen werden. Der Raum durchdringt demnach alle materiellen Massen in jeder Richtung wie ein Netz, nur dass er Zellen anstatt Maschen bildet; er isolirt jedes Atom von seinen Nachbarn und er selbst ist zusammenhängend. Nehmen wir nun den Fall eines Nichtleiters, beispielsweise Schellack, so wird man

[1]) Phil. Mag., 3. Ser., vol. XXIV, 1844, p. 136; Experimental-Untersuchungen, II. Bd., Berlin 1890, S. 255.

aus dieser Vorstellung seiner atomistischen Constitution sofort folgern, dass der Raum hier wie ein Isolator wirkt; denn wenn er ein Leiter wäre, so würde, welcher Art auch immer seine Beziehungen zu dem Leitungsvermögen der materiellen Atome wären, der Schellack nicht isoliren können; der Raum müsste sonst einem metallischen Gewebe ähnlich sein, welches den Schellack in allen Richtungen durchdringt. Nehmen wir demnächst den Fall eines Metalles, so ist es ein Leiter; aber wie könnte es dies sein, wenn nicht der Raum leitend wäre? Denn er ist der einzige zusammenhängende Theil des Metalles, während die Atome sich (der Theorie zufolge) nicht nur nicht berühren, sondern, wie wir bald sehen werden, sogar als in einem beträchtlichen Abstande von einander befindlich angenommen werden müssen. Der Raum muss also hier wie ein Leiter wirken, da sonst die Metalle nicht leiten könnten, sondern sich in dem eben erwähnten Falle des schwarzen Siegellacks befinden müssten. Wenn aber der Raum leitend ist, wie können Schellack, Schwefel u. s. w. isoliren, da doch der Raum sie in allen Richtungen durchdringt? Oder wenn der Raum wie ein Isolator wirkt, wie kann ein Metall oder ein ähnlicher Körper leiten? Eine theoretische Grundlage, welche zu solchen Folgerungen führt, muss an und für sich falsch sein.“ Um diesen und noch anderen Schwierigkeiten zu entgehen möchte FARADAY zu der schon von BOSCOWICH gelehrten Ansicht neigen, dass die Atome nichts weiter als Kraftcentren seien und dass die Materie im Wesen nur aus Kraft bestehe. Dann bleibt als Sitz der Kraft nichts weiter als der der Raum selbst und die Materie ist nichts weiter als mit Kräften ausgerüsteter Raum und erfüllt damit den Raum continuirlich. „Nach der gewöhnlichen Auffassung der Atome, sagt FARADAY, besteht eine materielle Masse aus Atomen und Zwischenräumen, nach der unsern aber ist Materie überall gegenwärtig und giebt es keinen Raum, der nicht von ihr eingenommen wäre. Demnach ist die Materie durchaus continuirlich, und wir haben in einer materiellen Masse eine Trennung ihrer Atome durch Zwischenräume nicht anzunehmen. Die die Centra umgebenden Kräfte verleihen diesen die Eigenschaften materieller Atome, und diese Eigenschaften wiederum combiniren sich, wenn viele Centra sich durch ihre vereinten Kräfte zu einer Masse gruppiren, zu den Eigenschaften der Materie. Bei dieser Auffassung verschwinden alle Widersprüche, die sich bei einer Betrachtung der elektrischen Leitung und Isolation ergeben. Die hier aufgestellte Ansicht von der Constitution der Materie scheint nothwendig zu dem Schluss zu führen, dass die Materie den ganzen Raum erfüllt, oder wenigstens allen Raum, auf den sich die Gravitation (die Sonne und deren System eingeschlossen) erstreckt; denn die

Schwere ist eine Eigenschaft der Materie, die von einer gewissen Kraft abhängt, und eben diese Kraft ist es, welche die Materie constituirt. Nach dieser Auffassung ist die Materie nicht nur gegenseitig durchdringlich, sondern jedes Atom erstreckt sich, so zu sagen, durch das ganze Sonnensystem, doch so, dass es immer sein eigenes Kraftcentrum beibehält. Dies scheint beim ersten Blick sehr gut zu harmoniren mit MOSOTTI's mathematischen Untersuchungen und seiner Zurückführung der Erscheinungen der Elektricität, Cohäsion, Gravitation u. s. w. auf eine einzige Kraft der Materie, sowie mit dem alten Wort „„Materie kann nicht wirken, wo sie nicht ist"". Allein ich habe durchaus nicht die Absicht, auf derartige Betrachtungen oder auf die Bedeutung dieser Hypothese für die Theorie des Lichtes und den hypothetischen Aether einzugehen."

Das waren kühne, vielleicht überkühne Gedanken, diese Ideen von der Materialität und primitiven Causalität des Raumes, aber FARADAY fühlte sich Schritt für Schritt durch seine Arbeiten zu ihnen gedrängt. Er gab dieselben der wissenschaftlichen Welt gegenüber auch nicht als fest aufgestellte Hypothesen oder gar von ihm als wahr zu vertheidigende Grundlagen seiner Physik; er behandelte dieselben nur als zu überlegende Möglichkeiten, bei denen die Behandlung von Gegensätzen nicht ausgeschlossen war. Er theilte jene Ideen nur als Vorschläge zur Discussion, zur Prüfung für Mitstrebende, aber nicht für Schüler zum Nachlernen mit.



IV.

Die moderne Gestaltung der elektrischen Theorien.

Faraday's Abhandlungen über Elektricität wurden in ihren verschiedenen Theilen verschieden aufgenommen. Die experimentellen Entdeckungen des grossen Forschers, besonders die frühesten, begegneten allgemeinem lebhaftesten Enthusiasmus, die theoretischen Anschauungen desselben aber wurden, je deutlicher sie hervortraten, besonders in Frankreich und Deutschland, mit mehr oder weniger Unlust oder gar Verdruss abgewiesen. Man war durchaus nicht geneigt, dem grossen Entdecker auch auf diesem Wege zu folgen und gab vielmehr zu verstehen, dass diese so sonderbar erscheinenden Ideen nicht dem Genie des Urhebers, sondern vielmehr den Mängeln seiner wissenschaftlichen Ausbildung zuzuschreiben seien. Jeder mathematisch Gebildete dürfe und müsse, so meinte man damals, an der unvermittelten Fernwirkung der Naturkräfte festhalten, und Faraday habe nur darum den Raum mit seinen Kraftlinien erfüllt, weil ihm die mathematischen Formeln gefehlt, um die Wirkung entfernter Kraftcentren auf jeden Punkt des Raumes zu berechnen. Von solchen Ideen wenigstens zum Theil mit bestimmt, hat auch Poggendorff, der in seinen Annalen die Abhandlungen Faraday's bis dahin in extenso übersetzt hatte, von den letzten drei Serien derselben, wie er sagt, aus Mangel an Raum nur einen ganz kurzen Auszug gegeben.

Und doch übten gerade die weitgehendsten Theorien Faraday's einen bald bemerkbaren, sehr wichtigen Einfluss aus. Bis dahin waren die Newton'schen Vorstellungen von der Constitution der Materie in unbestrittener Herrschaft geblieben und selbst nur zu einer freien Kritik dieser Vorstellungen hatte man kaum den Muth gefunden. Jetzt zeigte das kühne Vorgehen eines Genies wie Faraday offen die Thunlichkeit solcher freieren Behandlung der Ideen von Kraft und Materie und, wenn auch nicht allgemein, so doch vereinzelt, fanden sich bald Nachfolger.

Zuerst wurde man sich wieder über das Räthselhafte der unvermittelten Fernwirkung klar und, nach einer Ruhezeit von mehr als hundert Jahren, knüpfte man an den alten Streit über die Natur der Schwere mit erneutem Eifer an. Mit Nachdruck hob man alle die Aeusserungen hervor, die schon Newton in seiner vorsichtigen Art über die causa gravitatis nach einer oder der anderen Richtung hin gethan und

bald mehrten sich die Versuche wieder, auch die Verbreitung der Schwere, als eine durch eine ätherartige Flüssigkeit vermittelte, nachzuweisen. Die ersten Anhänger FARADAY's in England, wie MAXWELL und W. THOMSON, waren auch die Vorgänger auf diesem Wege.

Selbst so weit ausschauende Ideen wie die von der Materialität des allgemeinen Raumes fanden schon ihre Durcharbeiter und manche Physiko-Philosophen, wie z. B. Prof. SCHLESINGER in Wien u. A., haben sich bemüht, der Materie ihr Beharrungsvermögen abzusprechen und den Raum als einzige, überall vorhandene und überall unvermittelt thätige Kraftquelle nachzuweisen. Auch die damit verbundene Lehre von der continuirlichen materiellen Erfüllung des Raumes und die daraus folgende Negirung der Atomistik ist in neuester Zeit von bedeutenden Physiko-Chemikern mit Eifer aufgenommen und in Verbindung mit der neuen Energetik als eine Grundlage physikalischer Anschauungen nicht ohne Beifall gelehrt worden.

Am weitesten blieb merkwürdiger Weise im Anfange die Annahme der FARADAY'schen Theorien bei den eigentlichen Elektrikern zurück. Einestheils wohl darum, weil die rasenden Fortschritte der Experimentalphysik und der Technik auf diesem Gebiete das Bedürfniss nach einer tiefer und allgemeiner gehenden Theorie nicht aufkommen und die Experimentoren gar nicht aufathmen liessen. Anderentheils aber auch wohl darum, weil bei dem drängenden Hereinbrechen immer neuer Entdeckungen und Erfindungen die Dinge auf diesem Gebiete so complicirt wurden, dass man an der Möglichkeit einer einheitlichen, widerspruchsfreien Zusammenfassung aller Beobachtungen unter einer Alles umfassenden Theorie noch für lange Zeit verzweifelte. So trat der sonderbar gewendete Fall ein, dass die FARADAY'schen Anschauungen, welche die Experimentalphysiker nur als Aushülfen für Nichtmathematiker zulassen wollten, gerade von Mathematikern aufgenommen und als angemessendste Grundagen für ihre Deductionen nachgewiesen wurden.

An erster Stelle geschah dies durch den jungen Schotten JAMES CLERK MAXWELL, der sich seine Rittersporen mit einer Abhandlung „über Faraday's Kraftlinien“ verdiente. Diese Abhandlung wurde Ende 1855 und Anfang 1856 vor der Philosophical Society zu Cambridge gelesen und in den Transactions dieser Gesellschaft gedruckt.[1]) MAXWELL, der im Jahre 1831 geboren ist, studirte damals noch in Cambridge, wurde aber gleich darauf Professor in Aberdeen, dann nach einigen Jahren in London und starb schon im Jahre 1879,

---

[1]) Transact. of the Cambr. phil. soc., vol. 10, p. 27; deutsch herausgegeben von L. BOLTZMANN in Ostwald's Klassikern, no. 69.

nur 48 Jahre alt, viel zu früh, nicht so sehr für seinen Ruhm, als für die Klärung der neuen Wissenschaft.

Maxwell geht in dieser seiner ersten Abhandlung ganz vom Standpunkte des Mathematikers aus, dem es nur auf die Zweckmässigkeit und Einfachheit seiner Formeln ankommt, und hat diesen Standpunkt auch immer festgehalten. Nach ihm erst hat man, wie wir hier speciell nachweisen wollen, den angeblich rein mathematischen Constructionen immer mehr realen physikalischen Werth beigelegt und bis heute ist dieser Process noch nicht ganz vollendet. Doch hält auch Maxwell schon es für angezeigt, seinen mathematischen Standpunkt in Bezug auf seine physikalische Berechtigung etwas klarer darzustellen und seine neue Methode physikalisch näher zu begründen. „Um den Anforderungen der bisherigen Theorie gerecht zu werden, sagt er in der Einleitung zu seiner Abhandlung, muss man sich mit einem bedeutenden Apparate so verwickelter mathematischer Formeln vertraut machen, dass die Schwierigkeit, diese im Gedächtniss festzuhalten, allein schon den weiteren Fortschritt wesentlich beeinträchtigt. Wollen wir daher die Theorie erfolgreich weiter entwickeln, so müssen wir vor Allem die Ergebnisse der früheren Untersuchungen vereinfachen und auf eine dem Verstande möglichst leicht zugängliche Form bringen. Die Resultate dieser Vereinfachung können entweder die Gestalt einer rein mathematischen Formel oder die einer physikalischen Hypothese annehmen. Im ersten Falle verlieren wir die zu erklärenden Erscheinungen ganz aus dem Auge und können niemals eine umfassendere Uebersicht über die inneren Beziehungen des Gegenstandes gewinnen. Wenn wir andererseits eine physikalische Hypothese wählen, so sehen wir die Erscheinungen wie durch eine verfärbte Brille und sind zu jener Blindheit gegen Thatsachen und Voreiligkeit in den Annahmen geneigt, welche eine auf einem einseitigen Standpunkte stehende Erklärung begünstigt. Wir müssen daher eine Untersuchungsmethode ausfindig machen, welche uns bei jedem Schritte zu einer klaren physikalischen Anschauung befähigt, ohne uns an eine specielle Theorie zu binden, von welcher die Anschauung entlehnt ist, damit wir weder durch die Verfolgung analytischer Subtilitäten vom Gegenstande abgezogen, noch durch eine Lieblingshypothese von der Wahrheit entfernt werden."

Als eine solche ideale Methode, die alle Vortheile der Mathematik behält und doch keine schädliche Hypothese aufnimmt, empfiehlt dann Maxwell, wie ich denke zum ersten Male, die Methode der Analogien. Diese Methode hat vielen Beifall gefunden und vielfach ist dieselbe gerade bei der Aufstellung elektrischer Theorien von bedeutenden Physikern und Mathematikern verwendet worden. Doch scheint uns die Analogie im Wesen von der Hypothese nicht verschieden zu

sein, wenn auch der erstere Ausdruck vielleicht noch mehr das Bildhafte unserer Erkenntnisse betont als der zweite; denn auch bei der Analogie wird man doch immer zur Annahme geneigt sein, dass den entsprechenden Analogien gewisse Wesensidentitäten zu Grunde liegen.

In der That tritt auch bei MAXWELL das Entsprechen von Analogie und Hypothese deutlich hervor, wenn er z. B. anführt, dass man zuerst die Brechung des Lichts durch eine Analogie des Lichtstrahles mit der Bewegung von Massentheilchen in gradliniger Bahn, dann aber viel angemessener durch die Analogie mit der Ausbreitung von transversalen Schwingungen in einem elastischen Medium erklärt habe.

MAXWELL wendet sich wie FARADAY vor Allem gegen den Begriff der unvermittelten Fernwirkung, speciell gegen dessen Verwendung auf elektrischem Gebiete. „Wir haben, sagt er[1]), uns Alle an den mathematischen Begriff der Fernwirkung gewöhnt, es gibt in der angewandten Mathematik keine Formel, die mit der Natur besser stimmen würde, als das NEWTON'sche Gravitationsgesetz und keine Theorie hat im menschlichen Geiste fester Wurzel gefasst als die der Fernwirkung der Körper. Von solchen Fernwirkungen erscheinen auf den ersten Anblick die Gesetze der Wärmeleitung in homogenen Medien in physikalischer Hinsicht denkbarst verschieden. Die Grössen, welche bei diesem Probleme vorkommen, sind: Temperatur, Wärmefluss, Leitungsfähigkeit. Das Wort Kraft ist dem Gegenstand fremd; trotzdem finden wir, dass die mathematischen Gesetze der stationären Bewegung der Wärme in homogenen Mitteln der Form nach identisch sind mit denen einer Anziehung, welche dem Quadrate der Entfernung verkehrt proportional ist. Obwohl, wie man allgemein voraussetzt, die Wärmeleitung durch eine Wirkung zwischen den unmittelbar benachbarten Theilen der Körper zu Stande kommt, während die Anziehungskraft eine Beziehung zwischen entfernten Körpern ist, so sind doch die mathematischen Formeln, durch welche die Gesetze des einen und des anderen Erscheinungsgebietes ausgedrückt werden, vollständig dieselben. Und man kann diese Verwandtschaft der Formeln mit Vortheil verwenden, um aus bekannten Lösungen von Aufgaben des einen Gebietes die des anderen abzuleiten. Durch den Gebrauch von Analogien solcher Art habe ich nun auch versucht, in einer bequemen und handlichen Form jene mathematischen Formeln darzustellen, welche zum Studium der elektrischen Erscheinungen nothwendig sind. Meine Methode ist durchweg die von FARADAY in seinen Untersuchungen befolgte, welche man, obwohl sie von Prof. THOMSON und Anderen mathematisch interpretirt worden ist, doch noch sehr häufig

---

[1]) Ostwald's Klassiker, no. 69, S. 5.

für unbestimmter und unmathematischer hält als die der Mathematiker von Fach. Es wird, wie ich hoffe, aus meiner Darstellung ersichtlich sein, dass ich nicht eine physikalische Theorie einer Wissenschaft aufzustellen suche, in welcher ich kaum ein einziges Experiment gemacht habe, sondern dass sich mein Vorhaben darauf beschränkt, zu zeigen, wie gerade durch Verwendung der Begriffe und Methoden FARADAY's die Wechselbeziehung der verschiedenen Klassen der von ihm entdeckten Erscheinungen am besten klar gemacht werden kann.“

Doch geht MAXWELL in seiner Ableitung der elektrischen Erscheinungen bedeutend weiter als FARADAY. Während dieser nur die Fernwirkung leugnet und im Uebrigen den Begriff der Kraft als Ursache von Bewegungen nicht weiter zurück verfolgt, giebt MAXWELL den Begriff der NEWTON'schen Kraft als einer vor der Bewegung liegenden Ursache ganz auf und sucht alle Kraftwirkungen, wenigstens auf elektrischem Gebiete, auf Bewegungen als deren Ursachen zurückzuführen.

Die Analogie nämlich, durch welche MAXWELL alle elektrischen Erscheinungen zu erklären hofft, ist die Aehnlichkeit dieser mit den durch das Strömen einer Flüssigkeit hervorgerufenen Wirkungen. Diese Flüssigkeit aber erklärt er nothgedrungen als eine durchaus imaginäre, als einen Sammelbegriff imaginärer Eigenschaften, der nur den Zweck hat, gewisse Theoreme der reinen Mathematik in einer anschaulicheren und auf physikalische Probleme leichter anwendbaren Form darzustellen, als es durch Anwendung rein algebraischer Symbole geschehen kann.

MAXWELL fingirt also eine unzusammendrückbare Flüssigkeit, deren Theilchen absolut keine inneren NEWTON'schen Kräfte haben, die aber alle in immerwährender Bewegung, und zwar in überall gleichmässig sich wiederholender oder stationärer Bewegung begriffen sind. In dieser Flüssigkeit denkt man sich eine Linie gezogen, die in jedem ihrer Punkte die Richtung der Bewegung desjenigen Flüssigkeitstheilchens angiebt, das in dem Moment räumlich mit diesem Punkte zusammenfällt; eine solche Linie heisst eine Stromlinie. Solche Stromlinien, für alle Flüssigkeitstheilchen gezogen, füllen den Raum vollständig aus. Nehmen wir diese Stromlinien in Gruppen so zusammen, dass sie die Wände von Hohlröhren bilden, so erhalten wir Stromröhren und, wenn dieselben so gross sind, dass durch einen Querschnitt in der Zeiteinheit die Volumeneinheit der Flüssigkeit fliesst, Einheitsröhren. Da die Wände einer Stromröhre durch Stromlinien gebildet werden, so kann in diesen Röhren niemals Flüssigkeit ein- oder austreten, die Wände sind also factisch undurchdringlich für die Flüssigkeit und durch alle Querschnitte einer Röhre fliessen in gleichen Zeiten auch gleiche

Flüssigkeitsmengen; die Geschwindigkeiten der Theilchen sind also den Querschnitten umgekehrt proportional.

Betrachten wir den ganzen, von Flüssigkeit erfüllten Raum, so müssen, da die Flüssigkeit incompressibel ist, die Stromröhren in sich zurücklaufen und die Flüssigkeit, wenn überhaupt an einem Orte bewegt, muss die Röhre gleichmässig durchfliessen. Ziehen wir aber nur einen bestimmt begrenzten Theil des Raumes in Betracht, so können wir uns in jedem Punkte desselben eine Stromröhre anfangend oder endend denken, wenn wir nur annehmen, dass am Anfange desselben ihr eine genügende Menge der Flüssigkeit von irgend woher zugeführt und ebenso am Ende eine gleiche Menge von Flüssigkeit irgend wohin abgeführt wird. Solche Anfänge und Endstellen von Stromröhren heissen beide *Quellen der Elektricität* und werden entsprechend als *negative* und *positive* Quellen unterschieden. Durch die Einheitsröhren sind danach alle Bewegungen in der Flüssigkeit bestimmt; die Richtung der Röhren giebt die Richtung der Bewegung, die Zahl der Röhren, die durch eine bestimmt grosse Fläche hindurchgehen, oder die sogenannte *Röhrendichte*, bestimmt die Intensität, und die Grösse des Querschnitts der Röhren zeigt die Geschwindigkeit der Bewegungen an.

Wir schreiben der Flüssigkeit, welche wir betrachten, *keine Masse* und also auch *kein Beharrungsvermögen* zu; aber wir nehmen an, dass sie sich in einem Medium bewegt, das ihrer Bewegung auf irgend eine Weise *Widerstand* leistet. Die Art und Beschaffenheit dieses Mediums bleibt ebenso unbestimmt wie die Flüssigkeit selbst; nur soll es eben der Bewegung auf irgend eine Weise Widerstand leisten und dieser soll der Geschwindigkeit proportional sein. Dadurch wird überall in der Flüssigkeit ein *Druck* gegen die Bewegung erzeugt und ein Druck muss dem entgegenwirken, der hinter der bewegten Flüssigkeit überall grösser ist als vor derselben. Verbinden wir alle Punkte gleichen Drucks durch Flächen, so erhalten wir *Niveauflächen*, welche die Stromröhren senkrecht durchschneiden und dieselben, wenn wir die Querschnitte der Röhre quadratisch annehmen, in sechsflächige Zellen zertheilen. Construiren wir dann die Niveauflächen für alle Drucke von Einheit zu Einheit abnehmend, so werden durch sie die Einheitsröhren in *Einheitszellen* zerlegt. Durch diese Einheitszellen, aus deren Länge umgekehrt auch wieder der in jedem Punkte herrschende Druck abgeleitet werden kann, ist dann auch in dem complicirteren Falle des Stattfindens eines Widerstandes die Bewegung der Flüssigkeit in allen ihren Theilen bestimmt. Erzeugt wird der Druck in der Flüssigkeit durch die Flüssigkeitsquellen, die in dem gegebenen Raume sich befinden, und er ist um so grösser, je

grösser die Anzahl und die Intensitäten der Quellen in dem betreffenden Raume sind. Jeder positiven Quelle aber muss in einem gegebenen Raume wegen der Incompressibilität der Flüssigkeit auch eine gleich intensive negative entsprechen.

Wir haben schon bemerkt, dass als Quellen die Enden von Theilen der Stromröhren anzusehen sind. Daraus folgt, dass man auch jede Einheitszelle, in welcher die Flüssigkeit an der negativen Seite durch die eine Niveaufläche ein- und an der positiven Seite durch die andere Niveaufläche austritt, als eine solche Doppelquelle annehmen kann. Daraus aber ist leicht weiter zu folgern, dass man jede Stromzelle, deren eine Endfläche Flüssigkeit aufnimmt und deren andere dieselbe wieder aussendet, mit einem elektrischen Theilchen und die dadurch erzeugten Stromlinien mit den Kraftlinien dieses Theilchens in weiterreichender Analogie vergleichen darf. Das Zwischenmedium, das durch seinen Widerstand den Druck modificirt, ist dann als das Dielectricum zu betrachten und seine Dielectricitätsconstante ist dem Widerstande umgekehrt proportional. Wenn die Zelle ein Theil eines continuirlichen Zellensystems ist, so wird die Flüssigkeit, welche aus einer Zelle austritt, immer in die nächstfolgende einströmen, so dass die entgegengesetzten Quellen an den sich berührenden Enden zweier benachbarten Zellen einander aufheben und man also die Quellen von dem Ende der Zellen an die Enden der Einheitsröhren verlegt denken kann. Da aber dann alle Einheitsröhren an der Oberfläche des gedachten Zellensystems beginnen und enden, so werden auch alle Quellen und damit die ganze freie Elektricität als auf dieser Oberfläche befindlich gedacht werden müssen, wie das ja von der Elektricität seit langem bekannt ist.

Auch die Erscheinungen der dynamischen Elektricität sind bis auf einen bei der Induction sich zeigenden dunklen Punkt aus der Analogie mit Strömungserscheinungen der Maxwell'schen imaginären Flüssigkeit leicht abzuleiten. Galvanische Ströme sind danach nichts weiter als Ströme jener Flüssigkeit, welche stationär in leitenden Bahnen fliessen, die ihnen einen gewissen Widerstand entgegensetzen, der durch Anbringung einer elektromotorischen Kraft an bestimmten Stellen der Bahn überwunden wird. Vermöge dieses Widerstandes ist der Druck in verschiedenen Stellen der Bahn ein verschiedener. Dieser Druck, welcher gewöhnlich als die elektrische Spannung bezeichnet wird, erweist sich der Grösse nach als identisch mit dem Potentiale der statischen Elektricität. Aber dieser Druck hier im Strome kann doch kein gewöhnlicher hydromechanischer sein, er muss vielmehr gleich einer Kraft eine bestimmte Richtung haben. Wenn der Strom durch eine Druckdifferenz in der Flüssigkeit erzeugt wäre, so

müsste er sich von dem Punkte grössten Druckes nach allen Richtungen hin zu Punkten kleineren Druckes ausbreiten, während er in der That constant nur in einer Richtung fliesst. Wir müssen daher noch das Vorhandensein besonderer elektromotorischer Kräfte hypothesiren, welche fähig sind, einen constanten Strom in einem geschlossenen Stromkreise zu erhalten.

Jede elektromotorische Kraft, d. i. jede Quelle mit bestimmter Bewegungsrichtung, welche in der Flüssigkeit zu wirken beginnt, verändert den Druck in der letzteren und bildet dadurch neue Kraftröhren und Zellen; jeder Zuwachs an elektromotorischer Kraft vermehrt also die Kraftröhrendichte. Umgekehrt wird auch eine Vermehrung der Kraftröhrendichte eine elektromotorische Kraft und damit einen Strom in der Flüssigkeit erzeugen. Statt der Vermehrung der Kraftröhren an einer Stelle kann man mit eben demselben Erfolge auch Zellen und Röhren von einer Stelle niederer Kraftröhrendichte an einen Ort grösserer Dichte verschieben und auch auf diese Weise eine elektromotorische Kraft und damit einen elektrischen Strom hervorrufen. Umgekehrt aber wird ebenso, wenn Zellen und Röhren beweglich sind, eine Vermehrung der Kraftröhrendichte eine entsprechende Bewegung der Zellen verursachen müssen. Hieraus resultiren mit anschaulicher Leichtigkeit alle Erscheinungen der elektrischen Induction.

Nur ein sehr dunkler Punkt bleibt in diesen Deductionen, das ist die Nothwendigkeit einer bestimmten Richtung der elektromotorischen Kraft. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, muss Maxwell, wie Faraday, in der Flüssigkeit einen elektrotonischen, d. i. einen Zwangszustand annehmen, der nach einer bestimmten Richtung wirkt, sonst aber nicht weiter erklärbar ist. Maxwell trennte dieser schwachen und wenig bestimmten Hypothese wegen bei seinen nachfolgenden mathematischen Entwicklungen sorgfältig den Theil, der sich nur auf die Bilder von Stromlinien und Stromzellen stützt, von demjenigen, in welchem auch der elektrotonische Zustand in Betracht gezogen werden muss. Und wenn er dabei die Hoffnung aussprach, die Methode des ersten Theils mit der Zeit auch noch auf den zweiten Theil erfolgreich übertragen zu können, so ist ihm das leider doch nie ganz gelungen, und seine Arbeiten sind bis zuletzt mehr mathematischer als physikalischer Natur geblieben.

Maxwell's an Umfang so geringe, an Inhalt so reiche Abhandlung vermochte ihren Zweck, die Verbreitung der Faraday'schen Ideen direct nur in geringem Maasse zu erreichen. Noch während der sechziger Jahre war von Faraday'schen ebensowohl wie von Maxwell'schen Ideen wenig in der

physikalischen Welt zu merken. MAXWELL's Schrift sollte eine mathematische Verwerthung der FARADAY'schen Ansichten von der Vermittlung der Wechselwirkungen der Körper durch das Zwischenmedium besonders auf elektrischem Gebiete sein. Aber für die Berechnung statischer elektrischer Erscheinungen hatten auf Grund der anerkannten NEWTON'schen Kraftideen POISSON, GAUSS u. A. schon vollkommen genügende Formeln entwickelt und für die Berechnung der Wirkungen elektrischer Ströme aufeinander bot das AMPÈRE'sche Gesetz genügende Fundamente, ganz abgesehen davon, dass W. WEBER durch seine Ergänzung des NEWTON'schen Kraftgesetzes mit Hülfe kinetischer Elemente auch diese Wirkungen auf fernwirkende Kräfte als Ursachen zurückgeführt hatte. Die Physiker fanden darum in der weit überwiegenden Mehrzahl, besonders ausserhalb Englands, vorläufig noch keine Veranlassung die alten Ueberzeugungen zu verlassen und zu den neuen sich zu bekehren. Nur bei einzelnen, allerdings hochbedeutenden Forschern zeigten sich die Wirkungen des neuen Sauerteigs und die beginnende Gährung in einem erneuten Aufrollen der alten Frage nach der unvermittelten actio in distans. Hatte NEWTON als das Dauernde, das Primitive in der Materie die Kraft angesehen, so begann man wohl von manchen Seiten her an deren Stelle die Bewegung der Materie zu setzen. Keine Geringeren, als der grosse englische Physiker WILLIAM THOMSON und unser nicht minder bedeutender HELMHOLTZ gingen in dieser Beziehung voran; der erstere durch seine Theorie von den Wirbelatomen[1]), die nach Art der Rauchringe ohne alle inneren Kräfte nur durch ihre Bewegungen ihren Zusammenhang erhalten; der letztere durch seine berühmten Gleichungen über die Wirbelbewegungen in einer incompressiblen Flüssigkeit ohne Reibung.[2]) Die ersten Abhandlungen der beiden Forscher über diese Themata erschienen noch in den fünfziger und sechziger Jahren, und beide Physiker haben

---

[1]) WILLIAM THOMSON (jetzt LORD KELVIN): On vortex motion (gelesen am 21. April 1867 in der Edinburger Royal Society); Edinb. Trans. XXV, p. 217, 1869; auch schon Proceedings of the Royal Society of Edinb., Febr. 1867. Zu vergl. Steps towards a kinetic theory of matter (Opening adress of the mathematical and physical Section of the British Association, Montreal meeting 1884). Brit. Ass. Report. 1884, p. 613; abgedruckt in Popular Lectures and Adresses by Sir WILL. THOMSON, London 1889, vol. I, p. 218—252.

[2]) HERMANN HELMHOLTZ: Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen; Journal f. reine u. angewandte Mathematik, LV, S. 25, 1858; auch Helmholtz's wissenschaftliche Abhandlungen I, S. 101; auch Ostwald's Klassiker no. 79, Leipzig 1896. Ueber discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen; Monatsberichte der Königlichen Akademie der Wissenschaften, Berlin 1868, S. 215—228; auch Ostwald's Klassiker no. 79.

diese Probleme nicht wieder aus den Augen gelassen. Helmholtz insbesondere hat in seinen Abhandlungen über die von ihm so benannten cyklischen Bewegungen[1]) ein Fundament geliefert, das von den neueren Theoretikern der Elektricität schon in fruchtbarster Weise benutzt worden ist.[2]) Noch drei Jahre vor seinem Tode im Jahre 1891 gedachte er auf der Naturforscher-Versammlung in Nürnberg auf Grund der Cyklentheorie „über Dauerbewegungen als scheinbare Substanzen" einen Vortrag zu halten, der aber durch das Ausfallen dieser Versammlung unmöglich wurde und von dem in dem Nachlass des Gelehrten leider nichts weiter als die Einleitung vorhanden ist.

Wie gesagt, war auch nach Maxwell's erster Abhandlung in den sechsziger Jahren die Verbreitung der Faraday'schen theoretischen Anschauungen unter den Elektrikern nur eine sehr geringe. Maxwell selbst producirte nicht viel; vielleicht darum, weil schon die Arbeit für sein Hauptwerk ihn zu sehr in Anspruch nahm. Dieses Werk erschien endlich im Jahre 1873 unter dem Titel Treatise on Electricity and Magnetism[3]) und weckte in der That ein neues frisches Leben, nicht sowohl darum, weil es die neuen Ideen nun wirklich systematisch entwickelt und in unwiderleglicher Deduction zum Siege geführt hätte, sondern mehr darum, weil es die Verbindung der Elektricität mit einer so unzweifelhaft kinetischen Erscheinung, wie das Licht, nun in einer gemeinsamen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden unzweifelhaft nachwies.

Auch in diesem Hauptwerke gelang es Maxwell allerdings nicht, seinen mathematischen Entdeckungen an allen Stellen, wie er gehofft, eine sichere rein anschauliche Grundlage in der Weise Faraday's zu geben, im Gegentheil hielt er sich hier noch strenger mathematisch und zog noch mehr als früher auch die entgegengesetzten Annahmen der älteren Physiker zur Betrachtung mit heran. Doch blieb er in Bezug auf die Grundanschauungen und besonders in seinen Anschauungen über den Einfluss des Zwischenmediums bei allen Wechselwirkungen

---

[1]) Studien zur Statik monocyklischer Systeme, Sitzungsber. d. Akademie d. Wiss. z. Berlin, 1884, S. 159—177, 311—318, 755—759. Principien der Statik monocyklischer Systeme, Journ. f. reine u. angew. Math., 97. Bd., 1884, S. 111—140, 317—336. Vollständig abgedruckt in Helmholtz, Wissenschaftliche Abhandlungen, III. Bd., Leipzig 1895, S. 119—201.

[2]) Boltzmann, Vorlesungen über Maxwell's Theorie der Elektricität und des Lichts, I. Theil, Leipzig 1891, S. 5 u. f.; H. Ebert, Magnetische Kraftfelder, I. Theil, Leipzig 1896, S. 126; H. Hertz, Die Principien der Mechanik, Leipzig 1894, S. 235.

[3]) Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus von J. Cl. Maxwell. Autorisirte deutsche Uebersetzung von Dr. B. Weinstein. Berlin 1883.

in der Natur immer ein fester und consequenter Anhänger FARADAY's. Man kann die Wirkung, sagt MAXWELL demgemäss[1]), die zwei Körper aufeinander ausüben, entweder als das Resultat eines gewissen Zustandes des sie trennenden Mediums oder aber auch als eine directe actio in distans auffassen.[2]) Geht man von der letzteren Auffassungsweise aus, so kann man wohl zu einem Ausdrucke für das Wirkungsgesetz zwischen den beiden Körpern gelangen, aber jede weitere Speculation über den Vorgang bei der Einwirkung des einen Körpers auf den anderen ist ausgeschlossen. Die zweite Auffassungsweise dagegen zwingt uns geradezu, den Process, der bei der Action zweier Körper aufeinander in jedem Theile des Mediums sich abspielt, zu verfolgen ... Eine nähere Untersuchung ergiebt, dass, wenn die Wirkung zweier Körper aufeinander unter Vermittelung des sie trennenden Mediums vor sich gehen soll, dieses sich in einem Zustande eines gewissen mechanischen Zwanges befinden muss, ähnlich wie ein Seil gespannt wird, wenn ein Körper auf einen anderen mittelst desselben einen Zug ausübt, und wie eine Stange comprimirt wird, welche zwei Körper, die sonst zusammenfallen würden, auseinanderhält. Der Zwangszustand des Mediums zwischen elektrisirten Körpern besteht nach FARADAY entsprechend den angeführten Beispielen in einer Spannung in Richtung der Kraftlinien und einem ihr gleichen Druck in allen zu den Kraftlinien

---

[1]) Lehrb. d. Elektricität u. d. Magnetismus; deutsch von WEINSTEIN, I. Bd., S. 62 u. f.

[2]) Ueber diese letztere Auffassung sagt MAXWELL in der Vorrede seines Werkes (S. VIII): „Die Elektricitätslehre ist von den Anhängern der Theorie einer Wirkung in die Ferne namentlich in Deutschland mächtig gefördert worden. WEBER hat seine so bedeutenden elektrischen Maassbestimmungen nach dieser Theorie interpretirt, und die von GAUSS begonnenen und von WEBER, RIEMANN, NEUMANN, Vater und Sohn, LORENZ und Anderen fortgesetzten Spekulationen sind auf der Hypothese einer Wirkung in die Ferne aufgebaut. Doch hängen sie nebenbei entweder unmittelbar von relativen Geschwindigkeiten sich bewegender Partikel ab, oder sie werden durch die Supposition einer allmäligen Fortpflanzung von Partikel zu Partikel von irgend etwas, sei es von der eines Potentials oder einer Kraft, bestimmt. Die grossen Erfolge, die die genannten hervorragenden Forscher bei der Anwendung ihrer Analyse auf elektrische Phänomene erzielt haben, mussten naturgemäss ihren theoretischen Spekulationen bedeutendes Gewicht beilegen ... Diese physikalischen Hypothesen sind aber der Art und Weise, wie ich hier die einzelnen Gegenstände betrachten werde, gänzlich fremd. Ich lege gerade darauf Werth, dass meine Leser sich aus meinem Werke überzeugen möchten, dass man unsre Wissenschaft noch mit ganz anderen physikalischen Ansichten bearbeiten kann, die die einzelnen Phänomene nicht minder zu erklären im Stande sind, als jene genannte Hypothese einer Wirkung in die Ferne. Und wenn auch die hier auseinandergesetzte Theorie in manchen Fällen weniger klar und präcis erscheinen dürfte, so glaube ich doch, dass sie dem Stande unserer Kenntnisse besser sowohl in dem entspricht, was sie explicirt, als auch in dem, was sie unentschieden lässt.“

senkrechten Richtungen. Die Grösse der Spannung sowohl wie die des Drucks ist proportional der elektrischen Energie, d. h. proportional dem Quadrate der resultirenden elektromotorischen Kraft und der specifischen inductiven Capacität des Dielectricums. Die Energie ist also in irgend einem Theile des Dielectricums in Form eines Zwanges aufgespeichert, den wir als dielektrische Polarisation bezeichnen. Diese entsteht durch den Zwang, den die elektromotorische Kraft ausübt, und verschwindet, wenn diese Kraft zu wirken aufhört. Wir können sie als eine durch die elektromotorische Kraft hervorgerufene Verschiebung der Elektricitäten der Theilchen des Dielectricums ansehen. Die Grösse der elektrischen Verschiebung wird durch die Elektricitätsmenge gemessen, welche durch eine Flächeneinheit vom Beginn der Verschiebung an hindurchgeht. Diese elektrische Verschiebung ist einer elastischen Verschiebung insofern analog, als sie mit Aufhören des Zwanges, der sie verursachte, von selbst zurückgeht. Sie besteht in einer Bewegung der Elektricität von derselben Art wie der Transport der Elektricität durch Leitung. Der einzige Unterschied zwischen elektrischer Verschiebung in einem Dielectricum und elektrischer Strömungen in einem Leiter besteht darin, dass jene gegen einen elastischen Widerstand zu kämpfen hat, welcher sich mit dem Widerstande vergleichen lässt, den elastische Körper Verschiebungen ihrer Theilchen entgegensetzen, so dass die Elektricität im Dielectricum sich sofort zurückbewegt, sowie die elektromotorische Kraft zu wirken aufgehört hat, während in einem Leiter die elektrische Elasticität fortdauernd nachgiebt und die Elektricität thatsächlich von Ort zu Ort fortgeleitet wird. In der That hängt auch bei einem elektrischen Strome der Widerstand nicht von der gesammten, aus dem Gleichgewicht gebrachten Elektricität ab, sondern nur von der Menge, welche einen Querschnitt des Leiters in bestimmter Zeit passirt. In jedem Falle aber folgt die Bewegung der Elektricität denselben Gesetzen wie die einer incompressiblen Flüssigkeit, vermöge dessen in einem abgeschlossenen Raum genau so viel Elektricität eintreten muss als aus ihm herausfliesst. Ein elektrischer Strom läuft also stets in sich zurück, und das ist für die Theorie des Elektromagnetismus von grösster Bedeutung."

Auf diesen Faraday'schen Grundlagen führte Maxwell nun seine Theorien mathematisch ausführlicher und treffender als früher durch, um ganz zuletzt zu dem physikalisch wirksamsten Abschnitt seines Buches, zu einer elektromagnetischen Theorie des Lichts, zu gelangen.

Den Einfluss des Magnetismus und damit auch der Elektricität auf die Polarisationsebene des Lichts hatte schon Faraday nachgewiesen, jetzt zeigte Maxwell mit grösster Sicherheit weiter, dass optische und elektrische Störungen in den-

selben Zwischenmedien auch mit gleichen Geschwindigkeiten sich fortpflanzen. Als er nämlich die Dimensionen der sogenannten elektrostatischen und elektromagnetischen Einheiten der Elektricitätsmengen miteinander verglich, bemerkte er, dass der Quotient aus beiden sich auf einen Quotient aus Länge und Zeit reducire, und dass dieser Quotient also, den übrigens schon W. Weber und R. Kohlrausch im Jahre 1856 gemessen hatten, eine Geschwindigkeit bedeute, die sich bei näherer Untersuchung als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Störungen oder Inductionen im Dielectricum erwies. Seine eigenen Messungen dieser Geschwindigkeit, die mit denen von Weber und Kohlrausch recht gut übereinstimmten, zeigten denn auch eine so starke Annäherung an die Werthe, welche man in den letzten Jahren für die Geschwindigkeit des Lichts erhalten hatte, dass man die beiden Geschwindigkeiten in ihrer Grösse für wesentlich identisch annehmen durfte.

Die elektromagnetische Theorie des Lichts, die Maxwell danach ausarbeitete, liess die Möglichkeit noch weiterer Prüfungen dieser Identität voraussehen. Die Geschwindigkeit, welche aus dem Verhältniss der elektrischen Einheiten berechnet wurde, gilt nur für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Störungen in Luft. Die entsprechenden Werthe für andere Medien als Luft können aber aus jenem Werthe leicht abgeleitet werden, da die Geschwindigkeiten für verschiedene Medien sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dielektricitätsconstanten verhalten.[1]) Weil nun andererseits auch die Geschwindigkeiten des Lichts von Medium zu Medium umgekehrt wie die Brechungsindices variiren, so müssen, wenn wirklich die elektrischen mit den optischen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten für alle Medien identisch sein sollen, auch die Quadratwurzeln aus den Dielektricitätsconstanten und die Brechungsindices bei jedem Mittel einander gleich sein. Leider stand Maxwell für die Prüfung dieser Gleichheit nur der Werth für eine Dielektricitätsconstante, die des Paraffins, mit einiger Genauigkeit zu Gebote und eine Vergleichung mit den Brechungsconstanten ergab hier zwar kein ganz unwahrscheinliches, aber auch kein ganz sicheres Resultat. Trotzdem glaubte

[1]) Das Verhältniss der elektromotorischen Kraft zu der ihr entsprechenden elektrischen Verschiebung im Dielectricum bezeichnet Maxwell geradezu als den elektrischen Elasticitätscoefficienten; er ist der Dielektricitätsconstante umgekehrt proportional (Maxwell, Elektricität u. Magnetismus, Berlin 1883, I. Bd., S. 65). Nimmt man nun an, dass der elektrische Elasticitätscoefficient bei der Fortpflanzung der elektrischen Störungen dieselbe Rolle spielt, wie der Elasticitätscoefficient bei der Fortpflanzung der Wellen in einem elastischen Mittel, so folgt aus der bekannten Formel für die Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung auch der obige Satz.

Maxwell an seiner Ansicht festhalten und die Medien, welche die optischen und die elektrischen Störungen fortpflanzen, als identisch ansehen zu dürfen.

„Ich habe an verschiedenen Stellen dieses Werkes, sagt er im Anfange des Abschnittes, welcher von der elektromagnetischen Theorie des Lichts handelt[1]), die elektromagnetischen Erscheinungen durch eine mechanische Einwirkung der Körper aufeinander zu erklären versucht und bin dabei der Conception gefolgt, dass diese Einwirkungen von Körper zu Körper durch ein den Raum zwischen den Körpern ausfüllendes Medium fortgeleitet werden. Da nun auch die Undulationstheorie des Lichts die Existenz eines den Raum erfüllenden Mediums annimmt, so werde ich in folgendem zu zeigen haben, dass die Eigenschaften unsres elektromagnetischen Mediums mit denen des lichttragenden identisch sind. Denn es wäre selbst philosophisch nicht zu rechtfertigen, wollte man, so oft man eine neue Erscheinung zu erklären hat, den ganzen Raum mit einem neuen Medium füllen. Auch gibt die Verbindung, in die dadurch zwei sonst so distincte Erscheinungsklassen, wie die des Elektromagnetismus und der Optik, zu einander treten, die Ueberzeugung von der Realität eines Mediums, das in seinen Eigenschaften der durch unsere Sinne sich uns bemerkbar machenden Materie ähnelt. Was die Art der im Medium während der Fortpflanzung des Lichts befindlichen Energie betrifft, so sollte sie, gemäss der Entwicklung, die Huyghens, Fresnel, Young, Green, Neumann u. A. der Undulationstheorie verliehen haben, theils potentieller, theils kinetischer Natur sein. Die potentielle nahm man als durch die Verdrehung der einzelnen Theilchen des Mediums gegen einander entstanden an; hiernach würde das Medium als elastisch zu betrachten sein. Die kinetische sollte durch vibratorische in dem Medium vor sich gehende Bewegungen wachgerufen werden. Auch in der Theorie der Elektricität und des Magnetismus, wie sie in diesem Werke adoptirt worden ist, hat man es mit zwei Arten von Energie, der elektrostatischen und der elektrokinetischen, zu thun, und diese beiden Energiearten sollten ihren Sitz nicht so sehr in den elektrisirten oder magnetisirten Körpern als vielmehr in jedem Theile des diese umgebenden Raumes haben. Unsere Theorie der Elektricität und des Magnetismus stimmt also mit der Undulationstheorie des Lichts schon darin überein, dass sie die Existenz eines Mediums voraussetzt, das als Träger zweier Energieformen auftreten kann.“

Die Idee eines engen Zusammenhangs der elektromagnetischen Erscheinungen mit dem Licht führte schliesslich Maxwell

---

[1]) Maxwell, Elektricität und Magnetismus, Berlin 1883, II. Bd., S. 537 u. f.

am Schlusse seines Werkes noch zu einem Versuch, die Verbreitung der elektromagnetischen Wirkungen durch das Dielectricum anschaulich darzustellen, ein Versuch, der, der Genialität seiner Conception wegen, allen späteren Versuchen der Art zu Grunde gelegt worden ist. Er besteht wesentlich in einer Verbindung der Ideen der THOMSON'schen Wirbelatome mit der Thatsache der Drehung der Polarisationsebene des Lichts durch den Magneten. „Was auch das Licht sein mag, sagt MAXWELL [1]), jedenfalls geht im Medium da, wo es auftritt, irgend etwas vor, sei es eine Verschiebung, oder eine Rotation, oder etwas, wofür uns überhaupt eine geeignete Vorstellung fehlt. Ferner hat der Vorgang sicher Richtung, und zwar eine zum Strahl senkrechte Richtung, wofür die Interferenzerscheinungen den unzweideutigen Beweis liefern. Bei circular-polarisirtem Licht bleibt die Grösse des Vorganges immer dieselbe, seine Richtung rotirt aber um die des Strahles und vollführt in einer Periode der Welle eine volle Umdrehung. Tritt nun ein in einem circular-polarisirten Strahl sich fortpflanzender derartiger Vorgang in ein Medium ein und findet er daselbst eine magnetische Kraft vor, so wird er von dieser dadurch, dass die Richtung seiner Rotation zu der magnetischen Kraft in Beziehung kommt, beeinflusst. Daraus schliessen wir, dass in dem Medium, wenn es von einer magnetischen Kraft angegriffen wird, eine gewisse — wir nennen sie magnetische — rotatorische Bewegung vor sich geht, deren Axe in die Richtung der magnetischen Kraftwirkung fällt; und weiter, dass, wenn circular-polarisirtes Licht das Medium so durchsetzt, dass die Rotationsrichtung seiner Vibrationen mit der der magnetischen Kraft zusammenfällt, es sich mit einer andern Geschwindigkeit fortpflanzt, wie wenn die Richtung seiner Vibrationen der der magnetischen entgegenläuft. Man sieht, ein Medium, welches magnetische Kraftlinien fortleitet, ähnelt einem, durch welches ein circular-polarisirter Strahl hindurchgeht, da hier wie dort Vibrationen in Kreisen stattfinden. Diese Vibrationen können nicht einem Theile des Mediums als Ganzes angehören. Es rotiren also im Medium nicht etwa Theile von endlichen Dimensionen, vielmehr muss man annehmen, dass die magnetische Rotation von den kleinsten Theilchen des Mediums dadurch, dass diese sich um ihre eignen Axen drehen, ausgeführt wird. Diese Annahme bildet die Hypothese von den molecularen Wirbeln."

Die Endresultate seiner ganzen Theorie giebt MAXWELL endlich in folgenden Sätzen [2]):

---

[1]) MAXWELL, Elektricität und Magnetismus, Berlin 1883, II. Bd., S. 568 u. f.

[2]) Elektricität und Magnetismus, Berlin 1883, II. Bd., S. 580.

„I. Magnetische Kraft ist die Wirkung der von den Molecularwirbeln entwickelten Centrifugalkraft.

II. Elektromagnetische Induction der Ströme ist ein Effect der Kräfte, welche in's Spiel kommen, wenn die Geschwindigkeit der Wirbel sich verändert.

III. Elektromotorische Kraft entsteht durch den Zwang auf den die Wirbel miteinander verbindenden Mechanismus.

IV. Elektrische Verschiebung entsteht durch das elastische Nachgeben des verbindenden Mechanismus."

Diese Sätze bilden noch heute für die elektromagnetische Theorie der Anhänger FARADAY's die physikalische Grundlage, doch fehlte dieser Grundlage selbst noch sehr Vieles an physikalischer Bestimmtheit. Mochte man auch die Molecularwirbel als genügend definirt ansehen, so blieb doch der Mechanismus, der die Wirbel miteinander so verbinden sollte, dass sich Geschwindigkeitsänderungen von einem Wirbel auf die anderen übertragen, gänzlich unbestimmt. Und wenn man diese Verbindung durch Zwischenmaschinen wie Stangen oder Seile oder Zahnräder illustriren wollte, so blieb wieder zweifelhaft, wie man diese Verbindungen sich so sehr elastisch denken könne, dass bei der dielectrischen Polarisation die Verschiebungen der Wirbel gegeneinander noch möglich sein sollten. Für die mathematische Behandlung der Probleme war allerdings durch die blosse Annahme irgend welcher elastischer Verbindungen schon eine genügende Grundlage gegeben, aber die Physiker vermochten solche mathematisch angenommene Verbindungen physikalisch doch nicht bestimmt zu definiren und in der Anschauung widerspruchsfrei darzustellen. MAXWELL hat diesen Mangel wohl auch gefühlt, denn in dem Vorwort zu einem mehr populären Werke, das im Jahre 1879 seines frühen Todes wegen nur unvollendet erscheinen konnte, sagt er ausdrücklich[1]: „In diesem kürzeren Werke habe ich mich bemüht, in möglichst knapper Form diejenigen Erscheinungen anzuführen, welche auf die Theorie der Elektricität Licht werfen und sie dazu zu verwenden, um Vorstellungen über das Wesen der Elektricität im Geiste des Lesers zu entwickeln. In dem grösseren Werke habe ich zuweilen Methoden benutzt, welche vielleicht nicht die besten sind, aber ohne welche der Lernende nicht den Untersuchungen der Begründer der mathematischen Elektricitätstheorie folgen kann. Seitdem habe ich mich mehr von der Ueberlegenheit der Methoden überzeugt, die von FARADAY angewendet wurden, und habe sie daher hier von Anfang an benutzt."

---

[1]) Die Elektricität in elementarer Behandlung von J. Cl. MAXWELL, herausgeg. von W. GARNETT, übersetzt von L. GRAETZ; Braunschweig 1883, S. VI.

Indessen grade über die schwierigsten Parthien, wie die magnetische Polarisation des Dielectricums, enthält das nachgelassene Werk MAXWELL's keine neubearbeiteten Abschnitte. So kam es, dass weiterhin zwar die Physico-Mathematiker die interessante elektromagnetische Theorie des Lichtes gern als dankbare Aufgabe für ihre mathematischen Deductionen wählten, dass auch die Experimentalphysiker den neuen experimentellen Aufgaben, welche ihnen die FARADAY-MAXWELL'sche Theorie stellte, vor allem der Bestimmung der Dielektricitätsconstanten für die einzelnen Stoffe, mit Eifer nachgingen, dass aber die Physiker im Allgemeinen sich immer noch wenig veranlasst fühlten, von den alten NEWTON'schen Grundlagen der Elektrik ab- und zu den neuen FARADAY-MAXWELL'schen vollständig überzugehen.

Erst am Ende der achtziger Jahre schlug diese Lage der Sache durch die Entdeckungen unseres weitsichtigen und genial kräftigen deutschen Physikers HERTZ in das Gegentheil um. HEINRICH HERTZ, der als Sohn eines Hamburger Juristen am 22. Februar 1857 geboren war und im Jahre 1875 seine Gymnasialstudien abgeschlossen hatte, beabsichtigte zuerst die Laufbahn eines Ingenieurs zu ergreifen, wandte sich aber zwei Jahre später im Herbst 1877 der akademischen Laufbahn zu. Schon im Herbste des nächsten Jahres trat er in das von HELMHOLTZ geleitete physikalische Laboratorium in Berlin als Praktikant ein und dieser grosse Gelehrte erkannte in dem jungen Schüler nicht blos sehr bald den congenialen Forscher, sondern wies ihm auch direkt die Richtung und den Weg an, auf dem er so grosse wissenschaftliche Lorbeeren ernten sollte. Dieser Weg aber führte durch das Gebiet der FARADAY'schen Ideen, die ja HELMHOLTZ von ihrem Entstehen bis zu seinem eignen Ende mit so grossem, thätigem Interesse verfolgte. FARADAY hatte gezeigt, dass die statische Elektricität in ihren Wirkungen durch das Dielectricum vermittelt wird; für die dynamische Elektricität war dieser Nachweis noch nicht gelungen und noch immer berechnete man deren Inductionswirkungen fast ausschliesslich unter der Voraussetzung einer direkten actio in distans. Nach MAXWELL aber sollte es wesentlich entscheidend für seine Theorie sein, ob das Entstehen und Vergehen dielektrischer Polarisationen in einem Isolator dieselben elektrodynamischen Wirkungen in der Umgebung hervorbringt wie ein galvanischer Strom in einem Leiter. Auf Veranlassung von HELMHOLTZ stellte darum die Berliner Akademie der Wissenschaften im Jahre 1879 die Preisaufgabe, irgend eine Beziehung zwischen den elektrodynamischen Kräften und der dielektrischen Polarisation der Isolatoren experimentell nachzuweisen, sei es nun eine elektrodynamische Kraft, welche durch Vorgänge in Nicht-

leitern erregt würde, sei es eine Polarisation der Nichtleiter durch die Kräfte der elektrodynamischen Induction. HELMHOLTZ forderte seinen begabtesten Schüler, der sich, wie er selbst sagt, „am tiefsten in seinen eigenen Kreis von wissenschaftlichen Gedanken eingelebt hatte“ [1]), direkt auf, sich an der Lösung dieser Preisaufgabe zu betheiligen und stellte ihm hierfür die Unterstützung des physikalischen Instituts in Aussicht. [2]) Dieser überlegte sich die Aufgabe und berechnete den Erfolg, welcher sich etwa unter den günstigsten Verhältnissen bei der Anwendung der Schwingungen von Leydener Flaschen oder offener Inductionsapparate erwarten liess. Aber das Ergebniss war nicht das gewünschte; es zeigte sich, dass eine unzweifelhafte Wirkung kaum zu hoffen war, vielmehr nur eine solche, welche an der Grenze der Beobachtung lag. „Ich verzichtete desshalb, so sagt er selbst, auf die Bearbeitung jener Aufgabe, es ist mir auch nicht bekannt geworden, dass dieselbe eine anderweitige Bearbeitung gefunden hätte. Es blieb aber mein Ehrgeiz, die damals aufgegebene Lösung später dennoch auf irgend einem neuen Wege zu finden, zugleich war meine Aufmerksamkeit geschärft für alles, was mit elektrischen Schwingungen zusammenhing, falls ein glücklicher Zufall mir solche in die Hände spielen sollte.“ [3])

Der erwartete Zufall trat im Herbst 1886 ein, als HERTZ bei seinen Vorlesungen am Polytechnikum in Karlsruhe dort vorhandene flache Inductionsspiralen benutzte, die einander beliebig genährt und voneinander entfernt werden konnten. Es überraschte ihn dabei, dass es nicht nöthig war, grosse Batterien durch die eine Spirale zu entladen, um in der andern Funken zu erhalten, dass vielmehr hierzu auch kleine Leydener Flaschen oder der Schlag eines kleinen Inductionsapparats genügten, sobald nur die Entladung in der primären Spirale eine Funkenstrecke zu überspringen hatte. Indem er die Verhältnisse mannigfach veränderte, fiel ihm die Erscheinung der Nebenfunken in einer nahe liegenden Nebenleitung auf, und damit war er überzeugt, dass nunmehr die Aufgabe der Berliner Akademie lösbar sein würde.

Dass die Entladungen von Inductionsapparaten wie von Leydener Flaschen in Schwingungen vor sich gehen, hatte HELMHOLTZ schon in seiner berühmten Abhandlung von 1847 über die Erhaltung der Kraft behauptet; FEDDERSEN hatte am Ende der fünfziger Jahre die Dauer der ersteren auf Zehntausendstel und die der letzteren auf Zehnmillionstel einer

---

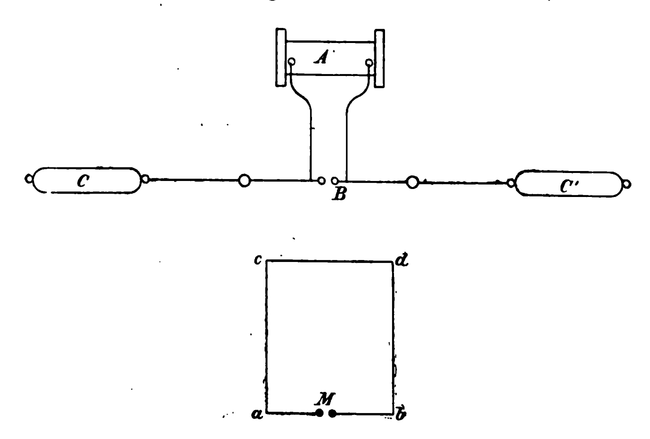
[1]) HERTZ, Die Principien der Mechanik, Leipzig 1894, Vorwort v. HELMHOLTZ, S. VIII.

[2]) HERTZ, Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig 1892, S. 1.

[3]) Ib. ib.

Sekunde berechnet. Hertz vermuthete nun, dass in gutleitenden ungeschlossenen Drähten, deren Enden nicht durch grössere Capacitäten belastet sind, noch bedeutend schnellere Schwingungen erregt werden und dabei in solcher Stärke auftreten könnten, dass ihre Fernwirkungen wirklich der Messung zugänglich würden.

Die erste Veröffentlichung der so veranlassten Arbeiten von Hertz erschien unter dem Titel „Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen" in der ersten Hälfte des Jahres 1887.[1]) Die Untersuchungen waren im Plane ebenso einfach als in der Ausführung complicirt. Die Schwingungen wurden durch den Funkenstreckenapparat erregt, der in allen Hertz'schen Versuchen ziemlich unverändert geblieben ist. Dieser Apparat war wesentlich dem Entladungsapparat einer Influenzelektrisirmaschine gleich, nur dass bei ihm durch die



Kugeln nicht diese Maschine, sondern meist ein grosses Inductorium entladen wurde. Zur Beobachtung der Inductionswirkungen der Funkenstrecke diente das Mikrometer, ein kreisförmig oder rechteckig gebogener Kupferdraht, der an einer Stelle unterbrochen wurde und dort in kleinen Kugeln, den Mikrometerkugeln, endigte. Die Mikrometerleitung war zuerst durch einen Nebendraht mit den Funkenstreckenapparat leitend verbunden, später aber ganz frei von demselben; ihre Ebene ging bei den Beobachtungen immer durch die Funkenstrecke hindurch (s. die obenst. Abbildung). Es traten dann auch auf ziemliche Entfernung hin in dem Mikrometer inducirte Funken bis zu 7 mm Länge auf, deren Entstehungsweise Hertz als elektrische Resonanz bezeichnete. Dem entsprechend ver-

[1]) Wiedemann's Annalen, 31. Bd., S. 421, 1887; Hertz, Ueber die Ausbreitung der elektrischen Kraft Leipzig 1892, S. 32.

mochte er auch wirklich in der Nebenleitung, die das Mikrometer enthielt, wenigstens einen Knotenpunkt festzustellen, an dem eine direkte Ableitung keinen Einfluss auf die Erscheinungen ausübte.

In einer zweiten Abhandlung vom Juni 1887 [1]) constatirte HERTZ nur, dass auch das Licht, besonders das ultraviolette, einen Einfluss auf die Entladungen habe und öfters bei den betreffenden Beobachtungen störend einwirke. In einem dritten Aufsatze [2]) aber vom Anfange des Jahres 1888 führte er sein Hauptthema weiter und beschrieb den Einfluss der Funkenstrecke auf den sekundären Leiter (Mikrometer) bei grösseren Entfernungen und verschiedenen Lagen des letzteren. Gleichzeitig erschien auch noch eine vierte Abhandlung [3]) über die Inductionserscheinungen, welche durch elektrische Vorgänge in Isolatoren hervorgerufen werden und in der er sich, auf das Thema der Berliner Preisaufgabe zurückgehend, mit dem Einfluss experimentell beschäftigte, den das Dielectricum auf die Induction galvanischer Ströme ausübt. Der sekundäre, auf die Schwingungen des primären gut abgestimmte Leiter wurde dazu dem primären möglichst genähert, jedoch in solcher Lage, dass die auf seine verschiedenen Theile wirkenden Kräfte sich gegenseitig aufhoben, so dass er funkenfrei erschien. Wurde dann das Gleichgewicht durch Annäherung eines Leiters gestört, so traten wieder Funken auf. Das System bildete eine Art von Inductionswage; aber diese Inductionswage hatte das Eigenthümliche, dass sie auch ansprach, wenn grössere Massen von Isolatoren ihr genähert wurden.

Da hiermit die Mitwirkung des Dielectricums bei der Fortpflanzung der dynamischen Induction von dem inducirenden Draht auf den inducirten gesichert erschien, so konnte HERTZ noch bestimmter als früher die Frage nach einem undulatorischen Charakter dieser Bewegung stellen. Er suchte zum Entscheid dieser Frage an der dynamischen Induction nach dem sichersten Kennzeichen der Wellenbewegung, der Interferenz, und wirklich gelang ihm noch im Jahre 1888 [4]) auch der Nachweis einer solchen bei einer gleichzeitigen Ausbreitung elektrodynamischer Wirkungen durch einen Draht und durch die Luft. Er schloss danach zur vollständigen Bestätigung FARADAY'scher Anschauungen, dass wirklich die elektrischen Kräfte selbstständig im Raume bestehende Polarisationen sind, dass sich diese Kräfte, und mit ihnen wohl auch alle anderen Naturkräfte, mit endlicher Geschwindigkeit im Raume ausbreiten und

---

[1]) Wiedem. Ann. 31, S. 983; Ausbreit. d. elektr. Kraft, S. 69.
[2]) Wiedem. Ann. 34, S. 155; Ausbreit. d. elektr. Kraft, S. 87.
[3]) Wiedem. Ann. 34, S. 273; Ausbreit. d. elektr. Kraft, S. 102.
[4]) Wiedem. Ann. 34. S. 551; Ausbreit. d. elektr. Kraft, S. 115.

dass es im Luftraume wirklich elektrodynamische Transversalwellen giebt.

Mit dem Nachweis einer möglichen Interferenz verschiedener im Raume sich fortpflanzender elektrischer Polarisationen war der undulatorische Charakter derselben gesichert. Daraus aber entsprang sogleich die neue Aufgabe, nun ausser der Interferenz auch die anderen Eigenschaften der Lichtwellen wie die Spiegelung, die Brechung u. s. w. an den Inductionswirkungen experimentell nachzuweisen, und HERTZ zögerte nicht, die Arbeit erfolgreich, wie immer, aufzunehmen. In einer den Vorigen wiederum nach kurzer Zeit folgenden Abhandlung [1]) war er im Stande sicher zu constatiren, dass die meisten Störungen, die er bei seiner Untersuchung der Inductionsstrahlen bemerkt hatte, von einer Reflexion der Strahlen an den Wänden seines Laboratoriums herrührten und ebenso gelang ihm der Nachweis, dass die Inductionsstrahlen ganz wie die Lichtstrahlen dem Reflexionsgesetz gehorchten. Dabei blieb er allerdings noch auf ebene Flächen beschränkt, und die Gesetzmässigkeiten der Reflexion an sphärischen Flächen konnte er hier noch nicht constatiren, weil ihm, wie sich gleich erwies, die richtigen Dimensionen der Spiegel noch nicht bekannt waren.

Doch füllte er diese Lücke sogleich in einer Abhandlung [2]) aus, die ebenfalls noch im December 1888 in einer Sitzung der Berliner Akademie gelesen wurde und die seine experimentellen Arbeiten über die Ausbreitung elektrischer Wellen im Dielectricum mit vielem Glanze abschloss. Diese Abhandlung führte den Titel „Ueber Strahlen elektrischer Kraft“ und die Ueberschriften ihrer einzelnen Abschnitte kennzeichnen den grossartigen Inhalt zur Genüge; sie lauten: Die Erzeugung des Strahles; die gradlinige Ausbreitung; die Polarisation; die Reflexion und die Brechung.

In der unglaublich kurzen Zeit von kaum zwei Jahren hatte HERTZ auf diese Weise eine der feinsten und schwierigsten Aufgaben der Experimentalphysik, deren Existenz man bis dahin ebensowenig wie ihre Lösungsart geahnt hatte, zum vollständigen Abschluss gebracht. Er selbst spricht eine dementsprechende Ueberzeugung am Ende der letzten Abhandlung mit den vornehm ruhigen Worten aus: „Wir haben die von uns untersuchten Gebilde als Strahlen elektrischer Kraft eingeführt. Nachträglich dürfen wir dieselben vielleicht auch als Lichtstrahlen von sehr grosser Wellenlänge bezeichnen. Mir wenigstens erscheinen die beschriebenen Ver-

---

[1]) Wiedem. Ann. 34, S. 610, 1888; Ausbreit. d elektr. Kraft, S. 133.

[2]) Wiedem. Ann. 36, S. 796; Ausbreit. d. elektr. Kraft, S. 184.

suche in hohem Grade geeignet, Zweifel an der Identität von Licht, strahlender Wärme und elektrodynamischer Wellenbewegung zu beseitigen. Ich glaube, dass man nunmehr getrost die Vortheile wird ausnützen dürfen, welche sich aus der Annahme dieser Identität sowohl für das Gebiet der Optik, als das der Elektricitätslehre ziehen lassen."

Die experimentellen Entdeckungen von Hertz wurden im Gegensatze zu den mathematischen Resultaten Maxwell's mit ungeheurer Schnelligkeit und fast ohne Widerspruch aufgenommen. Ueberall in den Laboratorien, bei wissenschaftlichen wie populären Vorträgen bemühte man sich, die nicht leichten Versuche nachahmend vorzuführen und die weitesten Kreise zeigten grosses und andauerndes Interesse. Die wissenschaftlichen Zeitschriften waren in den Jahren 1889 und 1890, wie jetzt mit Arbeiten über Röntgenstrahlen, mit Abhandlungen über Hertz'sche Wellen zu einem guten Theile ausgefüllt und die Bestätigungen und Verbesserungen der Hertz'schen Versuche folgten einander mit erstaunlicher Schnelligkeit. Mit diesen Arbeiten aber erlangte auch die Faraday'sche elektrische Theorie das unleugbare Uebergewicht über die alten Theorien, die auf der Grundlage einer actio in distans ruhten, und wie man früher die erstere Theorie nur als eine anschauliche Analogie der Wirklichkeit zugelassen hatte, so empfahl man nun umgekehrt die elektrischen Imponderabilien mit ihren fernwirkenden Kräften nur noch als bequeme mathematische Fictionen.

Vielfach haben schon in der Physik entgegengesetzte Theorien in solcher Weise längere Zeit nebeneinander bestanden, und welchem Gliede der Antithese man dabei die grössere oder auch die alleinige Realität zuschrieb, das war immer nicht so sehr die alleinige Sache wissenschaftlicher Demonstration, als mindestens zu einem sehr grossen Theile auch die Sache persönlichen Meinens und der momentanen wissenschaftlichen Entwicklungsrichtung. Jede neue Theorie tritt darum gern zuerst nur als eine blosse mathematische oder philosophische Construction auf den Kampfplatz, um allmählig das gelehrte Publikum im Laufe ihrer Entwicklung an ihre physikalische Realität zu gewöhnen. Diese Phase ihrer Entwicklung hatte die Faraday'sche Theorie der Elektricität langsam genug durchgemacht. Schritt für Schritt nur war man zur Annahme einer Vermittelung aller elektrischen Wechselwirkungen durch das Dielectricum übergegangen und ganz allmählig nur hatte man sich der Idee einer unvermittelten momentanen Ausbreitung der elektrischen Kräfte entwöhnt. Jetzt aber begann man kühn auch die letzten Consequenzen der neuen Theorie zu ziehen und wenn man früher die elektrischen Vorgänge gänzlich in die leitenden Körper gesetzt und Bewegung der Elektricität in

Isolatoren fast ganz ausgeschlossen hatte, so begann man nun schon umgekehrt alle elektrischen Vorgänge, auch die galvanischen Ströme nicht ausgenommen[1]), in das Dielectricum zu verlegen, wo sie durch die Leiter höchstens die Richtung erhalten. FARADAY und MAXWELL hatten überall das bloss Constructive ihrer Annahmen betont und der letztere hatte noch ausdrücklich sein elektrisches Fluidum als eine imaginäre Flüssigkeit bezeichnet. Jetzt aber erlaubte man sich, diese Flüssigkeit ganz unbedenklich mit dem Lichtäther zu identificiren und beiden damit eine volle physische Realität beizulegen. Und obgleich die HERTZ'schen Versuche eigentlich nur für die Ausbreitung der elektrischen Wirkungen ausserhalb der Körper, d. h. für die strahlende Elektricität, den Aether als Träger nachgewiesen hatten, so versuchte man nun auch alle Wirkungen der an die ponderable Materie gebunden erscheinenden Elektricität auf den Aether als wesentliche Substanz zurückzuführen.

Ein Beispiel für eine solche weitest vorgeschrittene Anschauung giebt OLIVER LODGE in einem 1889 in erster und schon 1892 in zweiter Auflage erschienenen Buche Modern Views of Electricity[2]), das 1896 auch in deutscher Uebersetzung[3]) herausgegeben wurde und dem jedenfalls das Verdienst nicht abzusprechen ist, dass es zum ersten Male die gesammten elektrischen Erscheinungen im Zusammenhange auf Grund der FARADAY'schen Anschauungen darzustellen versucht.

Nach LODGE ist die Elektricität unzweifelhaft nichts anderes als der Aether, der in der Weise MAXWELL's als eine incompressible Flüssigkeit ohne merkliche Trägheit definirt wird. Dieser Aether bewegt sich in den Zwischenräumen oder Gängen einer den ganzen Raum bis auf diese Zwischengänge

---

[1]) HERTZ führt schon in seiner Abhandlung „über die Fortleitung elektrischer Wellen in Drähten" für diese Meinung die Arbeiten von O. HEAVISIDE (Electrician, Jan. 1885; Phil. Mag., 5. Serie, XXV, p. 153, 1888) und J. H. POYNTING (Phil. Trans. 1885, II, p. 277) an. Er sagt darüber: „Durch die Versuche der folgenden Arbeit wird ziemlich deutlich erwiesen, dass bei schnellen Stromschwankungen die Veränderung von aussen her in den Draht eintritt. Dadurch ist wahrscheinlich gemacht, dass auch beim constanten Strom nicht, wie man bisher annahm, der Vorgang im Drahte die Ursache der Erscheinungen in seiner Nachbarschaft sei, sondern dass umgekehrt die Vorgänge in der Nachbarschaft des Drahtes die Ursachen für die Erscheinungen im Innern desselben abgeben" (Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig 1892, S. 292, Anmerk. 24).

[2]) Modern Views of Electricity by OLIVER J. LODGE, London 1892.

[3]) O. J. LODGE, Neueste Anschauungen über Elektricität. Uebersetzt v. A. v. HELMHOLTZ und E. DU BOIS-REYMOND. Herausgeg. v. R. WACHSMUTH. 1896.

continuirlich erfüllenden, elastischen, vorläufig als gallertartig angenommenen Materie, dem Dielectricum. Wo der Aether in die sich ausdehnenden Gänge des Dielectricums hineingepresst wird, da zeigen sich positiv elektrische Wirkungen; entgegengesetzte da, wo er herausgesogen wird. Da er incompressibel ist, so muss beides immer zu gleicher Zeit geschehen. Die entgegengesetzten Elektricitäten können also nie vereinzelt auftreten, wie FARADAY (und noch vor ihm FRANKLIN) das schon erwiesen. Die Elektrisirmaschine ist danach nichts weiter als eine Aetherpumpe, die nach der einen Seite als Saug-, nach der anderen als Druckpumpe wirkt. Der Aetherdruck wird erzeugt durch einen mechanischen Druck, der beim Reiben auf grössere Flächen als bei rein statischem Druck wirkt. Die elektrische Ladung eines Körpers geschieht ohngefähr so, wie man Wasser in einen elastischen Beutel, oder richtiger gesagt, in einen Hohlraum hineinpumpt, der sich inmitten eines elastischen Mediums befindet; sie besteht also in einer Spannung, die durch eine elastische Verschiebung entstanden ist. Die Entladung besteht natürlich in einem Zurückgehen dieser Verschiebung und dem damit erfolgenden Aufhören der Spannung. Denkt man sich zwei Hohlräume im Dielectricum nebeneinander und pumpt man das elektrische Fluidum in den einen hinein, so wird die zunächst gelegene Wand des zweiten Hohlraums in diesen hineingedrückt, die entgegengesetzte Wand aber in das Dielectricum hinausgedrängt und die beiden Theile des Hohlraums werden somit entgegengesetzt geladen; das erklärt die Erscheinung der elektrischen Influenz.

Die elektrischen Imponderabilien von früher sind zu verwerfen, aber nur deshalb, „weil sie sich auf die Vorstellung einer Wirkung in die Ferne gründen." Sie lenken unsere Aufmerksamkeit auf die Leiter; FARADAY aber lehrte uns das Augenmerk auf das die Leiter umgebende Medium richten. Das Dielectricum, wie er es nannte, ist der eigentliche Sitz sämmtlicher Erscheinungen; die Leiter sind nichts weiter als Unterbrechungen in diesem Mittel. Die Leitung der Elektricität kann aber, wie die der Wärme, von zweierlei Art sein; die Uebertragung kann entweder durch den Stoff hindurch oder mit dem Stoffe erfolgen. Eine dritte Art der Fortbewegung, die durch Strahlung oder Schwingung, ist keine directe Uebertragung der Elektricität oder Wärme, denn hier wird nicht die Wärme z. B. übertragen, sondern nur die Schwingung, die aus Wärme entsteht und wieder an einem anderen Ort Wärme erzeugt.

Die Leitung in Metallen geschieht durch directe Uebertragung des Stoffes oder der Bewegung von Molecül zu Molecül und ist bei Wärme und Elektricität ganz gleich. Die Leitung in Flüssigkeiten aber geschieht durch Bewegung der Elektricität

mit den Atomen. Jedes Molecül enthält entgegengesetzte Atome, von denen die einen positive, die anderen negative Elektricität übertragen können. Wirkt eine elektromotorische Kraft in einer Flüssigkeit, so werden die Molecüle derselben zerrissen, die positivelektrisch geladenen Atome wandern nach der einen, die negativen nach der anderen Richtung, d. h. sie werden von Molecül zu Molecül ausgetauscht; an den Elektroden aber setzen sich die letzten Atome frei ab. Die Leitung der Elektricität in Flüssigkeiten ist also immer mit chemischer Zersetzung verbunden.

Wie aber auch die Leitung geschieht, wenn wirklich Materie dabei bewegt wird, so muss sich ein gewisses Beharrungsvermögen und damit eine gewisse lebendige Kraft des Stromes zeigen. Einige Erscheinungen, wie der Oeffnungsfunken eines Stromes, lassen auch wirklich auf eine solche Kraft schliessen, andere aber noch beweisendere lassen von einer Beharrung nichts verspüren. Elektrische Energie wird durch einen Strom jedenfalls fortgepflanzt; doch muss man unterscheiden zwischen dem Strömen von Elektricität und dem von elektrischer Energie. Elektrische Energie wird nicht an einem Ende in den Leitungsdraht hineingepumpt, um am anderen Ende wieder auszuströmen. Auf diesem Wege wird Elektricität befördert, aber nicht elektrische Energie. Die Batterie ertheilt ihre Energie nicht unmittelbar dem Draht, sondern dem umgebenden Mittel; dieses wird gestört, gespannt, und pflanzt die Spannung fort, bis sie den Draht erreicht, durch den sie abgeleitet wird. Dies ist nämlich nach Professor Poynting der Zweck des Drahtes. Er soll die Energie ableiten, die ihm das Medium zuführt, weil dieses sonst in einen Zustand statischer Spannung gerathen und keine Energie mehr übertragen würde. Nur dadurch, dass die dem Medium ertheilte Energie beständig abgeführt und dabei in Wärme umgesetzt wird, ist eine dauernde Fortpflanzung von Energie möglich. Es ist schon bemerkt worden, dass die Atome eines Molecüls elektrische Ladungen haben. Nehmen wir nun an, dass, wie die neue Wärmetheorie lehrt, in jeder Flüssigkeit dissociirte Atome sich finden, und weiter dass Metallplatten in einer Flüssigkeit solche Atome oder besser ihre Elektricität, wie z. B. Zinkplatten die Sauerstoff-Atome oder ihre Elektricität, anziehen, so ist klar, wie diese Atome an das Zink sich anlegen und da ihre negative Elektricität abladen. Zink muss also in Wasser bis zu einem gewissen Grade negativ geladen werden und diese Ladung muss sich, wenn sie durch einen Draht abgeleitet wird, immer wieder erneuern. Das ist die Grundlage der Theorie der galvanischen Elemente. Eine Contactkraft hierzu anzunehmen ist nicht nöthig. Doch existirt wirklich eine solche, nur sehr schwache Contactkraft, wie der Peltier'sche Effect anzeigt,

[illegible]

Das ist allerdings immer noch eine ziemlich rohe Vorstellung vom Dielektricum, die auch nur dazu dienen soll, die Wechselwirkung zwischen den magnetischen Theilchen und die Möglichkeit der Induction zu erklären. Richtiger ist es wohl, wie es schon AMPÈRE gethan, sich diese Theilchen als Wirbel oder als Wirbelatome zu denken, wobei vor der Hand noch unentschieden bleibt, ob nur die Elektricität die Atome umwirbelt oder die Atommaterie selbst mit der Elektricität kreist. Die Atome müssen wir dabei nothwendig als vollkommene Leiter ohne jeden Widerstand ansehen und der Elektricität selbst eine gewisse Beharrung zuschreiben, die nur in einem Strome sich nicht geltend machen kann, weil jeder Strom aus zwei ...n entgegengesetzt gerichteter Elektricitäten besteht.

Dieses letzte Moment zwingt LODGE dazu, den Aether aus zwei verschiedenen Aethern bestehend anzunehmen, von denen einer die positive und der andere die negative Elektricität bildet.[1])

Der grösseren Anschaulichkeit wegen wird man gut thun, für die folgenden komplicirten Betrachtungen sich die Wirbelatome unbeschadet ihrer Wirklichkeit wieder als Räder zu denken. Danach besteht also ein magnetisches Feld, das durch einen Strom erregt wird, aus lauter Zahnrädern, die alle so ineinander greifen, dass sämmtliche Räder sich in Drehung versetzen müssen, wenn der Strom, den man durch eine Zahnstange veranschaulichen kann, die ihm benachbarten zu drehen anfängt. Dann aber werden die Räder nicht alle in gleicher Richtung, sondern nur so sich drehen können, dass, wenn die Reihe der in die Zahnstange eingreifenden Räder sich rechts, die nächste Reihe der Räder sich links, die nächste sich wieder rechts u. s. w. dreht, so dass die Reihen der Räder in der Drehungsrichtung abwechseln. Nehmen wir dann noch an, dass die rechts drehenden Räder der positiven und die links drehenden der negativen Elektricität zugehören, so entspricht die beschriebene Anordnung der magnetischen Felder der Thatsache, dass durch Induction immer beide Arten der Elektricität und des Magnetismus im Raume erzeugt werden. In einem auf solche Weise magnetisirten, d. h. mit rotirenden gezahnten Rädern durchaus erfüllten Felde kann indessen wohl ein Strom von Energie, aber kein solcher von Elektricität entstehen, denn die positive Elektricität verbreitet sich hier in derselben Richtung wie die negative, und nur da, wo die beiden in entgegengesetzter Richtung oder wenigstens mit verschiedener Geschwindigkeit sich bewegen, kann man von einem Strömen der Elektricität reden. Das letztere aber ist nur dann möglich, wenn längs der ganzen Strombahn die Räder nicht fest verzahnt ineinander greifen, sondern wenn wenigstens die Räder, die im Strome liegen, glatte Ränder haben und theilweise gleitend nur durch eine grössere oder geringere Reibung nach kürzerer oder längerer Zeit von den Zahnrädern mit in Bewegung gesetzt werden. Eine solche zusammenhängende

[1]) Modern views of Electricity, London 1892, p. 246: „The doubleness of constitution of the medium — its being composed of two precisely opposite entities — is suggested by the facts of electrolysis, by the absense of mechanical momentum in currents and magnets, and by the difficulty of otherwise conceiving a medium endowed with rigidity which yet is perfectly fluid to masses of matter moving through it. With the hypothesis of doubleness of constitution this last-mentioned difficulty disappears. The ether as a whole may be perfectly fluid and allow bodies to pass through it without resistance, while its two components may be elastically attached together and may resist any forces tending to separate them, as a solid would if it possessed the requisite rigidity.“

Reihe von Gleitstellen bildet einen linearen galvanischen Strom. Ein metallischer Leiter besteht danach aus Wirbelatomen, die je nach der Reibung (d. i. dem Leitungsvermögen) mehr oder weniger leicht aneinander vorübergleiten, während das Dielectricum nur solche Atome enthält, die wie durch Zähne fest ineinander verkoppelt sind. Gleitung ist also Strom, Rotation ist Magnetismus. Die Gleitung vollzieht sich nur in der Richtung des Stromes; die Rotationsachsen aber befinden sich stets im rechten Winkel zu dieser Richtung. [1])

Wird in ein magnetisch erregtes Feld ein Leiter gebracht, so beginnen die Räder des Dielectricums nur allmählig die Räder des Leiters in Bewegung zu setzen. Es findet also so lange Gleitung zwischen den Rädern des Dielectricums und des Leiters und damit ein Strom statt, bis die Geschwindigkeit der Räder sich ausgeglichen hat; mit diesem Ausgleich hört der Strom auf. Wird aber der Leiter dann aus dem magnetischen Felde in ein nicht magnetisches Feld gebracht, so findet wieder Gleitung und damit ein Strom in entgegengesetzter Richtung statt, so lange bis nun wieder die Bewegung der Räder im Leiter sich gegen die Ruhe des Dielectricums ausgeglichen hat. Auf diese Weise erklären sich alle Erscheinungen der voltaischen und magnetischen Induction.

Aus dieser Vorstellung eines magnetischen Feldes folgt noch weiter, dass ebenso wie die elektrostatischen auch die elektrodynamischen Erscheinungen sich nur durch das Dielectricum ausbreiten. Durch den vollkommenen Leiter kann überhaupt nie Energie übertragen werden, da seine Räder ohne alle Reibung sich aneinander vorbei bewegen und also einander nicht in Bewegung setzen. Ein Leiter spielt den Wirkungen einer elektromotorischen Kraft gegenüber nur die Rolle des leeren Raumes. Fände sich in dem Dielectricum kein Leiter, so würden, wie schon bemerkt, die verschiedenen Elektricitäten nur in gleicher Richtung fortgepflanzt werden und kein Strom entstehen können. Zieht sich aber durch das Dielectricum ein vollkommen leitender Draht, so können auf der einen Seite desselben die Räder sich so drehen, dass die Drehung einer Fortpflanzung positiver, und auf der anderen Seite so, dass die Drehung der Fortpflanzung negativer Elektricität entspricht, ohne dass die gleitenden Räder des Leiters diese ver-

---

[1]) Modern views of electricity, London 1892, p. 218: „Slip is current, spin is magnetism ... The slip is wholly in the direction of the wire. The axes of spin are all at right angles to that direction.“ Die Kapitel vom magnetischen Feld und von den magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes gehören zu den schwierigsten des Buches von Lodge, wir müssen für ein volles Verständniss derselben auf das Buch selbst oder seine deutsche Uebersetzung verweisen.

schiedenen Drehungen verhinderten. Ist der Draht kein vollkommener Leiter, so wird allerdings eine grössere oder kleinere Menge elektrischer Energie auf den Leiter übertragen, aber nicht als elektrische Energie, vielmehr wandelt sie sich durch die Reibung in Energie der Wärme um.

Da, um die Spannungen und elektrischen Verschiebungen im Dielectricum zu erklären, angenommen worden ist, dass die Räder des Dielectricums sich nicht um feste, sondern um elastische Achsen drehen, so ist leicht einzusehen, wie im Dielectricum elektrische Wellen sich fortpflanzen können, die mit den Lichterscheinungen der Art nach identisch sind. Da indessen die Lehre von der strahlenden Elektricität, der letzte Abschnitt von LODGE's Werke, nicht weiter Neues bietet, wollen wir nicht weiter hierauf eingehen.

Das Werk von LODGE erscheint als eine sehr verdienstliche That, weil es zum ersten Mal alle elektrischen Erscheinungen aus einer fundamentalen Hypothese ohne Annahme fernwirkender Kräfte in sehr anschaulicher Weise erklärt. Dass dabei, um diese Anschaulichkeit zu erreichen, so grob zugehauene Modelle wie die Zahnräder des Dielectricums angewandt werden müssen, die man als auch nur einigermaassen genaue Bilder der Erscheinungen jedenfalls nicht annehmen kann, braucht uns dabei nicht weiter zu stören, denn sie sollen eben nichts weiter als mehr oder weniger zutreffende Analogien sein, die man auch durch beliebige cyklisch bewegte Massen mit beliebigen, die Rotation von einem Cykel auf alle benachbarten übertragenden Kräfte ersetzen könnte. Freilich würden danach wieder der fundamentalen Hypothese eine unendliche Menge Nebenannahmen angefügt werden müssen, die die Wahrscheinlichkeit der ganzen Hypothese auf ein bedenklich geringes Maass zurückführen würden. Ob danach die Zeit für die volle Aufnahme des Aethers unter die unzweifelhaft realen Materien der Physik wirklich so kurz bevorsteht, als LODGE meint, das kann wohl nur die Zeit selbst lehren. Er selbst spricht darüber in der Vorrede zur ersten Auflage seiner Schrift mit einer ungewöhnlichen Sicherheit[1]:

---

[1]) Das Folgende ist nach der deutschen Uebersetzung des LODGE'schen Werkes gegeben. Im Original lauten die Worte: „The existence of an ether can legitimately be denied in the same terms as the existence of matter, but only so. The evidence of its existence can be doubted or explained away in the one case as in the other, but the evidence for ether is as strong and direct as the evidence for air ... Some of the details of my explanations may be wrong (though I hope not), and all must be capable of ultimate improvement, but as to the main doctrine concerning the nature of electricity, though I call it a „view", it is to me no view but a conviction. Few things in physical science appear to me more certain than that what has so long been called electricity is a form, or rather a mode of manifestation, of the ether ... That which has now to

„Die Existenz des Aethers lässt sich mit demselben Recht und in derselben Form bestreiten wie die Existenz der Materie. Aber auch nur so. Das Vorhandensein Beider kann angezweifelt oder weggeleugnet werden, aber die Beweise für den Aether sind nichtsdestoweniger ebenso sicher und direct wie der für die Luft. Es kann sein, dass meine Erklärungen im Einzelnen noch unrichtig sind (obschon ich es nicht hoffen will); jedenfalls werden sie noch mancher Verbesserung bedürfen; was aber die Hauptlehre von dem Wesen der Elektricität anbetrifft, so ist sie für mich, obwohl ich sie als „Anschauung“ bezeichne, nicht Ansichtssache, sondern Sache der Ueberzeugung. Wenige Thatsachen in der Physik erscheinen mir sicherer als die, dass, was wir bis jetzt Elektricität genannt haben, eine Form oder vielmehr eine Art der Bethätigung des Aethers ist. Dasjenige, was wir jetzt zu erforschen haben, ist nicht das Wesen der Elektricität, sondern das Wesen des Aethers. Die Frage ist denn auch das Hauptproblem der physikalischen Welt unserer Zeit. Aber kein unlösbares; es steht vielmehr meiner Ansicht nach, unmittelbar vor seiner Lösung. Die Theorie des mit der Materie verbundenen Aethers muss zunächst an die Reihe kommen. Durch diese muss neben allen optischen und elektrischen Erscheinungen auch die Schwerkraft und die Cohäsion erklärt werden. Sodann müssen die specifischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten der Materie und das Wesen ihrer sogenannten Verbindungen in Angriff genommen werden. Ist dies geschehen, so sind die zahlreichen unzusammenhängenden Thatsachen der Chemie unter ein zusammenfassendes Gesetz gebracht. Die nächsten 50 Jahre werden vielleicht Zeuge sein, wie der grössere Teil dieser gewaltigen Siege sich verwirklicht.“

Diese etwas stark prophetischen Worte lassen sich am besten durch die allerdings etwas vorsichtigeren, aber für die Zukunft der neuen Theorie doch fast ebenso weittragenden ergänzen, mit denen unser Altmeister Helmholtz noch kurz vor seinem Tode das letzte Werk seines grossen Schülers, die Mechanik von Hertz, bevorwortete: [1]) „Hertz hat durch diese Arbeiten

be investigated is not the nature of electricity, but the nature of ether. And a question it is indeed: the question of the physical world at the present time. But it is not unanswerable: it is, in my belief, not far from being answered ... The theory of bound ether and of matter must next follow, and thereby, in addition to all optical and electrical phenomena, gravitation and cohesion must be explained too. Then must be attacked the specific differences between various kinds of matter, and the nature of what we call their „combinations“. When this is accomplished the complex facts of chemistry will have been brought under a comprehensive law. The next fifty years may witness these tremendous victories in great part won.“

[1]) Die Principien der Mechanik von H. Hertz. Leipzig 1894. Vorwort von H. v Helmholtz, S. XVII.

der Physik neue Anschauungen natürlicher Vorgänge von dem grössten Interesse gegeben. Es kann nicht mehr zweifelhaft sein, dass die Lichtschwingungen elektrische Schwingungen in dem den Weltraum füllenden Aether sind, dass dieser selbst die Eigenschaften eines Isolators und eines magnetisirbaren Mediums hat. Die elektrischen Oscillationen im Aether bilden eine Zwischenstufe zwischen den verhältnissmässig langsamen Bewegungen, welche etwa durch elastisch tönende Schwingungen magnetisirter Stimmgabeln dargestellt werden, und den ungeheuer schnellen Schwingungen des Lichts andererseits. Aber es lässt sich nachweisen, dass ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit, ihre Natur als Transversalschwingungen, die damit zusammenhängende Möglichkeit der Polarisationserscheinungen, der Brechung und Reflexion vollständig denselben Verhältnissen entsprechen, wie bei dem Licht und bei den Wärmestrahlen. Es ist gewiss eine grosse Errungenschaft, die vollständigen Beweise dafür geliefert zu haben, dass das Licht eine so einflussreiche und so geheimnissvolle Naturkraft, einer zweiten ebenso geheimnissvollen, und vielleicht beziehungsreicheren Kraft, der Elektricität, auf das engste verwandt ist. Für die theoretische Wissenschaft ist es vielleicht noch wichtiger, verstehen zu können, wie anscheinende Fernkräfte durch Uebertragung der Wirkung von einer Schicht des zwischenliegenden Mediums zur nächsten fortgeleitet werden. Freilich bleibt noch das Räthsel der Gravitation stehen, die wir noch nicht folgerichtig anders, denn als eine reine Fernkraft zu erklären wissen.“

Ein Gleichniss.



Die Erde war dem Menschengeschlecht längst zu eng geworden. Alle Theile derselben waren von übervölkerten Industriestaaten eingenommen, die ihre Erzeugnisse nach auswärts absetzen wollten und doch keine Absatzgebiete mehr frei fanden. Auch den Mond hatte man erobert und schon ausgewirthschaftet. Jetzt eben war es gelungen bis zu den Planeten vorzudringen, und unter finanzieller Beihülfe der geldkräftigsten Banken hatte eine Vereinigung der bedeutendsten industriellen Unternehmer die erste Eisenbahn auf dem Mars erbaut. Die Eisenbahn wurde ausschliesslich von Erdbewohnern verwaltet, welche die Sprache der Marsbewohner nicht verstanden, und dieses Verkehrshinderniss zwischen den Beiden wurde von den Unternehmern sehr lange, so lange als möglich aufrecht erhalten, um die Erkundung ihres technischen Wissens und Könnens durch die Marsbewohner hintenanzuhalten und eine Concurrenz derselben auf diesem Gebiete auszuschliessen. Nur durch Zeichen und optische Signale verständigte sich die Eisenbahnverwaltung mit dem Marspublikum, deren innere Zusammenhänge aber, zuerst auch noch gänzlich unbekannt, von den Marsbewohnern nur sehr allmählig und nur bis zu einer gewissen Grenze erforscht werden konnten, eben wegen der eifersüchtigen, interessirten Geheimnisskrämerei der irdischen Directoren. Um das Geheimniss zu wahren, waren alle Verwaltungsräume des Bahnhofs dem Publikum absolut verschlossen und ausser dem Wartesaal nur noch die aussen liegenden Billetschalter und einige nothwendige Nebenräume zugänglich.

Das Marspublikum hatte zuerst auch für alle diese Interna nur sehr wenig Interesse. Die neue Art der Fortbewegung und alle merkwürdigen Erscheinungen während derselben verblüfften so sehr, dass man nach dem Aussteigen im Wartesaale nur an die Erhaltung des Leibes, an Essen und Trinken, dachte; und der bei der oft eintretenden Ueberfüllung sich entspinnende Streit um diese leiblichen Bedürfnisse liess meist auch während des kurzen Aufenthalts wenig Zeit für die Beobachtung der Einrichtungen des Bahnhofs übrig. Doch allmählig glätteten sich die Wogen. Durch Gewöhnung erlangte man eine gewisse Ruhe, es trat eine gewisse Ordnung ein, die den

Streit zur Ausnahme werden liess, und nach und nach gewann man Zeit und Musse die Umgebung genauer zu betrachten. Ja einige Reisende von besonderer Beanlagung behandelten zuletzt die Erlangung besonders günstiger Aufenthaltsbedingungen, die noch immer die meisten Reisenden ausschliesslich beschäftigte, ganz als Nebensache und widmeten fast ihre ganze Aufenthaltszeit der Erforschung der ihnen bemerkbaren Bahnhofseinrichtungen. Da die Zeit des Aufenthalts jedes Einzelnen für diesen Zweck sich sehr kurz zeigte, vereinigten sich diese Männer zu Gesellschaften, um sich ihre Erfahrungen gegenseitig mitzutheilen und zu ergänzen; und schliesslich fanden sie sogar Mittel, die angesammelten Erfahrungen und Beobachtungen auch den Nachfolgenden verständlich zu deponiren und diesen so zu ermöglichen, auf dem Vorhandenen weiter zu bauen, ohne immer wieder von vorn beginnen zu müssen.

Besonders fiel allen Reisenden ein weisses kreisrundes Schild über dem Buffet im Wartesaale auf, an dessen Rande zwölf schwarze Zeichen sichtbar waren und über dem sich von der Mitte aus zwei schwarze Zeiger unauthörlich drehten. Man fand bald heraus, dass die Zeichen am Rande zwölf Zahlen bedeuteten und dass die ganz gleichmässigen Umläufe der Zeiger immer in der Zeit eines halben Tages oder noch kleinerer Zeittheile geschahen. Man erkannte nach und nach, dass die Bewegung der Zeiger in einem gewissen Zusammenhange mit den Vorgängen auf dem Bahnhofe standen und dass sich die Zeiteintheilung derselben gewissermaassen nach diesen Zeigern regelte. Augenscheinlich war auch das Zifferblatt für die allgemeine Beachtung bestimmt, denn es erleuchtete sich während der nächtlichen Dunkelheit von innen. Ueberhaupt bemerkte man, je länger und geschickter man beobachten lernte, immer neue Beziehungen zwischen den Vorgängen auf dem Zifferblatte und den Ereignissen auf dem Bahnhofe; einige derselben schienen direct von den Zeigern verursacht, andere nur mittelbar veranlasst zu werden; aber ohne Ende ergaben genauere Beobachtungen weitere Erkenntnisse und geniale Naturen hatten immer Gelegenheit zu überraschenden Entdeckungen.

Man erkannte auch die grosse Wichtigkeit solcher empirischen Forschungen für die Bequemlichkeit und Sicherheit der Reisenden an, denn die mit den Ergebnissen derselben bekannten Gelehrten brauchten nicht mehr ängstlich nach den Zügen und deren Schaffnern zu sehen, um von der Abfahrt nicht überrascht zu werden, sondern konnten die Zeit derselben sicher vom Zifferblatt ablesen, und so ihren Aufenthalt im Wartesaale besser ausnützen oder auch direct verlängern. Trotzdem mehrte sich mit der Zeit die Zahl der Gelehrten, welche mit diesen rein empirischen Erkenntnissen, nicht so sehr ihrer Quantität als ihrer Qualität wegen nicht ganz zufrieden

waren. Diese meinten, man habe nun der Thatsachen schon so viele entdeckt, dass endlich die Frage gestellt werden müsse, wie denn diese Thatsachen alle zusammenhingen, wodurch denn die Zeiger des Zifferblattes nach den bestimmten Gesetzen bewegt und auf welche Weise von den Zeigern aus die äusseren Geschehnisse auf dem Bahnhofe regulirt würden? Jedenfalls sei es der Bildung der Marsbewohner nicht würdig, um diese Fragen sich gar nicht zu kümmern und ihre Beantwortung nicht wenigstens zu versuchen.

Die klare Beantwortung zeigte sich allerdings viel schwieriger, als man vielleicht zuerst erwartet hatte, und leider mehrten sich die Schwierigkeiten mit fortschreitender Erkenntniss, statt sich zu vermindern. Ein überwältigend grosser Denker der Marsbewohner hatte das Zifferblatt mit seinen Zeigern und der wahrscheinlich dahinter liegenden, aber unsichtbaren Maschinerie für Theile eines Thieres erklärt, das von den Erdmenschen in der vorzüglichsten Weise so dressirt wäre, dass es nur die beobachteten zweckmässigen Bewegungen in seinen Theilen ausführe und nach der Gewöhnung bei seiner Dressur jede andere mögliche Bewegung ohne Ausnahme unterlasse. Diese Hypothese, die vorläufig alle Schwierigkeiten beseitigte, wurde zwar von einigen Gelehrten negirt, denen der Gegenstand gar nichts Thierisches oder Seelisches an sich zu haben schien, und diese meinten, da alle Bewegungen desselben ganz gleichmässig seien und augenscheinlich keinen Widerstand erführen, so möchten diese Bewegungen, einmal der Maschinerie bei ihrer Verfertigung eingepflanzt, und von selbst, ohne Thierseele oder Willen, bis ins Unendliche vor sich gehen. Diese Meinung wurde aber von den Nachkommen für lange Zeit ganz allgemein verworfen, und man ging vielmehr dazu über, nun auch alle anderen Maschinerien, die man auf dem Bahnhof bemerkte und deren innere Bewegungen man nicht verstand, für Thiere zu erklären, deren Dressur mit der des ersteren in zweckentsprechender Weise übereinstimmte.

Nach vielen Jahren erst erkannte man, dass mit dieser Erklärung eigentlich nichts erklärt sei und dass ausserdem die absolut mechanisch-gesetzmässig erfolgenden Bewegungen der Maschinerie jedenfalls nicht auf thierischen Willen, der doch immer eine gewisse freie Unregelmässigkeit bedingt, zurückgeführt werden könnten. Nach einem schweren Kampfe wurde danach die thierische Hypothese gänzlich verlassen und die Suche nach einer mechanischen Ursache der nun viel genauer als früher, vor Allem in ihren mathematischen Verhältnissen erkannten Bewegungen begann von Neuem.

Bald machte man darauf aufmerksam, dass die hauptsächlichsten Bewegungen in dem Uhrwerk, wie man nun die Maschinerie mit besonderem Namen genannt hatte, nämlich die

Bewegungen der Zeiger, Rotationsbewegungen seien. Man bemühte sich dann, diese Bewegungen durch eine grosse Wirbelbewegung einer Flüssigkeit zu erklären, die den abgeschlossenen Raum hinter dem Zifferblatte vollständig erfüllte. Dabei störte weiter nicht, dass die beobachteten Bewegungen verschiedene Geschwindigkeiten zeigten, denn man dachte sich den grossen Wirbel wieder mit kleineren erfüllt, die ihre Umläufe in verschiedenen Zeiten vollendeten. Schliesslich nahm man sogar an, dass die kleinen Wirbel sich auch fortschreitend bewegen und vielleicht noch Bewegungen ausserhalb des abgeschlossenen Uhrwerks verursachen könnten. So bildete sich eine rein kinetische Theorie des Uhrwerkes aus, die immer mehr Wirbelbildungen annahm und dadurch immer complicirtere Beobachtungen theoretisirend zusammenfasste. Den diese kinetische Theorie von ihrem Ursprunge an immer begleitenden Vorwurf, dass doch die Wirbelbewegung, auch wenn man sie zugeben wolle, einmal von selbst zur Ruhe und damit die Uhr zum Stillstand kommen müsste, begegnete man dadurch, dass man an die ziemlich lange Dauer der Wirbel im Wasser erinnerte, und für die Wirbel in der Uhr bei der Feinheit und reibungslosen Beweglichkeit ihrer Flüssigkeit eine unendliche Dauer als wahrscheinlich erklärte.

Doch führte dieser Vorwurf schliesslich den Sturz der Theorie herbei. Ein genialer Martischer Mathematiker, dem die möglichen Widerstände der Flüssigkeiten in der Uhr zu bedeutend und die Vielheit der Wirbel für seine mathematischen Entwicklungen zu complicirt waren, erklärte als einzige Ursache aller Bewegungen in dem Uhrwerk die Spannung einer sehr starken zusammengepressten Feder, die durch ihre Ausdehnung eine Menge Räder und vielleicht auch Stangen in Bewegung setze, die wieder alle die äusseren Bewegungen hervorriefen, welche man beobachtet hatte. Im Uebrigen war das Uhrwerk im Innern vollständig leer und keine Flüssigkeit hinderte die freien Bewegungen in demselben. Wirklich gelang es dem Mathematiker, auch aus seiner Hypothese mathematisch sicher alle Erscheinungen an dem Uhrwerk bis auf sehr geringfügige Ungenauigkeiten abzuleiten und alle Welt fiel, vielfach allerdings erst nach hartem Kampfe, seiner Theorie zu. Die früher kinetische Wissenschaft wurde für einige Zeit ganz durch eine dynamische ersetzt.

Doch konnte auch diese dynamische Theorie in ihrer Alleinherrschaft sich nicht behaupten. Die Liebhaber kinetischer Erklärungsfundamente hielten ihr entgegen, dass doch die Ausdehnung der Feder nicht bis ins Unendliche fortgehen könne, sondern eine Grenze haben müsse, mit deren Erreichung der Stillstand des Uhrwerks nothwendig verbunden sei. Und als der Urheber der dynamischen Theorie für diesen Fall das

Wiederaufziehen der Feder durch einen Erdbewohner annehmen wollte, entgegnete man ihm mit offenem Hohne, dass ein solcher Vorgang wenigstens nicht unbemerkt geblieben sein könnte. Auch erklärte man die ganze Theorie insofern für mangelhaft, als sie zu einer Erklärung der wirkenden Kraft selbst, der Elasticität der Feder, auch nicht einen einzigen Versuch mache. Schliesslich zeigten sich eine Menge von Vorgängen auf dem Bahnhofe zwar in ihrem Eintreten von den Zeitangaben des Uhrwerks abhängig, aber doch ihrer Ursache nach so wenig aus der Spannkraft der einzigen Feder ableitbar, dass man auch, während die dynamische Theorie im Allgemeinen noch in Geltung blieb, doch wieder anfing, einzelne passende Bewegungen aus Bewegungen einer sehr feinen Flüssigkeit abzuleiten, die das Uhrwerk ganz erfülle.

Eine solche Nebeneinanderstellung unvereinbar erscheinender Principien aber veranlasste wieder Andere, alle Annahmen über das innere Wesen der räthselhaften Maschinerie für unthunlich zu erklären und die Wissenschaft auf die Beobachtung und Erforschung der äusseren Vorgänge und ihrer mathematischen Beziehungen zu beschränken. Was man wissenschaftlich feststellen und messen könne, das seien, so sagten diese, einzig gewisse Arbeitsleistungen und Arbeitsfähigkeiten, deren Ursachen aber der exakten Forschung ganz unzugänglich seien. Die Energie des Uhrwerks von bestimmter, messbarer Grösse möge vielleicht dem Werke durch irgend welche unsichtbare Verbindungen von irgend woher unaufhörlich zugeführt werden oder sie möge in den Theilen des Uhrwerks selbst ihren ursprünglichen Sitz haben, jedenfalls wandle sich in dem Uhrwerke eine ursprünglich gegebene Menge von Energie in sehr verschiedene Formen um. Da aber, auch wenn die Energie sich umwandle, doch immer nur die Form sich ändere, die Grösse aber erhalten bleibe, so dürfe man annehmen, dass diese Umwandlungen der Energie rück- und vorwärts unbegrenzte Zeit lang fortdauern könnten. Auch diese Ansicht, welche eine rein energetische Theorie auszubilden strebte, hatte ihre vielen Vorzüge, vor allen den, dass sie die Entstehung beliebiger Energieformen und damit beliebiger Bewegungen aus einer vorhandenen Energie anzunehmen erlaubte, ohne über den eigentlichen Vorgang bei der Umformung im Innern der Maschine weiter Rechenschaft geben zu müssen. Trotzdem konnte auch die Energetik nicht den Ansprüchen Aller genügen und zu keinem vollen Siege gelangen. Vor Allem hielt man ihr entgegen, dass ihre Fundamentalgrösse gar nicht als ein bestimmter Gegenstand in dem Uhrwerk angegeben werden, dass man eine Einheit zum Messen dieser Grösse überhaupt nicht aufzeigen und deponiren, dass man die Grösse der Energie auch niemals wirklich messen, sondern nur berechnen

könne, und dass man endlich, um Energie sich wirklich anschaulich vorzustellen, dieselbe doch immer an Materie geknüpft denken und also für die Energetik doch immer wieder kinetische oder dynamische Momente verwenden müsse.

So kam es, dass die kinetischen wie die dynamischen wie schliesslich die energetischen Theorien des Uhrwerks einander gegenseitig in ganz gleicher Weise die Existenzberechtigung absprechen und dass trotzdem jede Theorie die beiden andern Theorien neben sich dulden musste, weil keine die Anhänger der andern zu sich ausschliesslich bekehren konnte. Jede Theorie hatte wie ihre Vortheile so auch ihre Schwächen, ja jeder Hypothese wurden von den Gegnern auf ihrem letzten Grunde unlösbare Widersprüche nachgewiesen. Da das aber bei allen drei Hypothesen gleichmässig geschah und da man nicht durch eine directe Ansicht des Innern anschaulich entscheiden konnte, ob ein Flüssigkeitswirbel oder eine gespannte Feder oder irgendwo angesammelte Energie die Quelle aller Bewegungen sei, so musste man zuletzt doch Jedem frei lassen, sich für eine der drei Ansichten beliebig als die ihm passendste zu bekennen.

Auch die Versuche, das Uhrwerk durch geschickte Marsmechaniker nachahmen zu lassen, konnte keinen entscheidenden Erfolg herbeiführen, obwohl solche Modelle die Anschauung in sehr dankenswerther Weise unterstützten. Erstens nämlich blieben die Modelle doch nur ziemlich unvollkommene Imitationen und Annäherungen an die Wirklichkeit, und zweitens baute man solche Modelle, die einige Zeit ganz gut arbeiteten, sowohl mit Hülfe gespannter Federn, als schwerer schnell rotirender Schwungräder, als auch zu- und abfliessender Flüssigkeitsströme, bewies also durch diese Modelle auch nur wieder die Möglichkeit aller drei in Frage stehenden Theorien.

Vor Allem eine Erscheinung blieb durch alle Theorien wie alle Modelle in gleicher Weise unerklärbar. Die irdischen Schaffner der Bahn zeigten sich bei genaueren Beobachtungen in gewisser Weise ebenfalls in ihren Bewegungen durch das Uhrwerk regulirt, aber auf keine Weise konnte man auch nur eine Idee davon geben, wie denn diese Verbindung zwischen Uhrwerk und Schaffnern bei aller Freiheit der letzteren nicht blos möglich, sondern auch wirksam sein könne.

Unter diesen Umständen mussten denn nach und nach die Vertheidiger der einzelnen Theorien auch für die eigene Theorie zugeben, dass diese das räthselhafte Werk nicht ganz, nicht ohne aufgelösten Rest zu erklären vermöge. Doch blieben die meisten insofern bis zuletzt ausschliessend, als sie jeder für seine Theorie behaupteten, da wo diese Theorie stehen bleiben müsse, da könne ein Marsbewohner überhaupt

nicht weiter kommen und grade für diesen Punkt werde ewig das Wort gelten müssen: Ignorabimus.

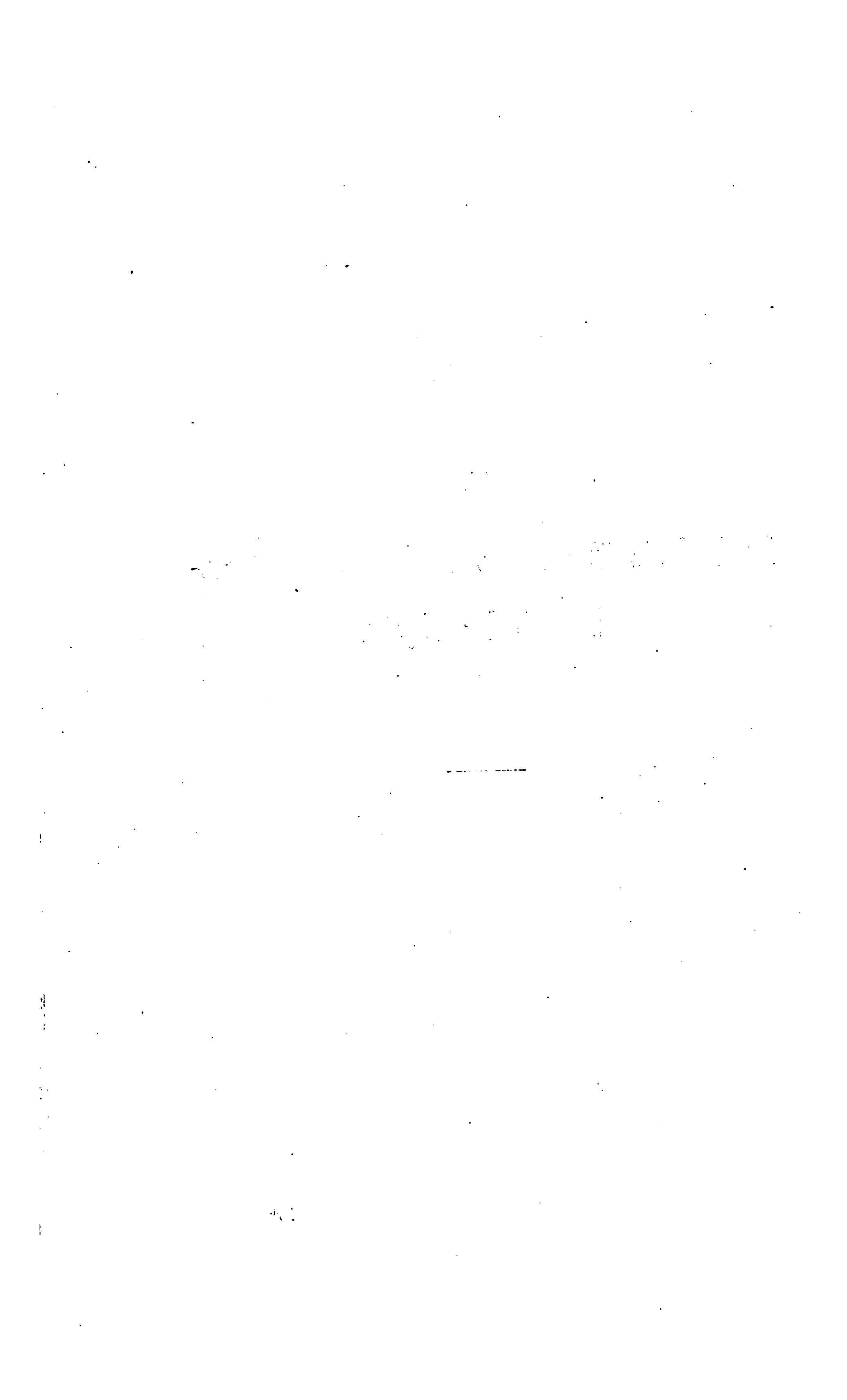
Einige Forscher aber, leider nicht allzuviel, waren doch vorsichtiger. Sie meinten, so lange die Marsbewohner den Erdmenschen an Erkenntnisskraft und Erfahrung nicht vollständig gleich würden, so lange werde auch für einen Marsbewohner der ganze Plan und die Einrichtung der Bahn mit allen ihren Vorrichtungen jedenfalls nicht vollkommen verständlich sein können und so lange werde immer Ursache bleiben zu sagen: Ignoramus. Trotzdem aber dürfe doch ein immerwährender Fortschritt für keine Zeit geleugnet werden, und wie weit man schliesslich in das Uhrwerk werde hineinsehen lernen, das sei im Voraus keinem Marsbewohner zu bestimmen möglich. Auch darum schon und zwar darum in allererster Linie könne man sich für keine der streitenden Theorien ausschliesslich entscheiden, vielmehr müsse man zusehen, welche derselben nach dem jeweiligen Stande der Kenntnisse sich am besten bewähre, und zuletzt sei es ja auch durchaus nicht unmöglich, alle drei zu gleicher Zeit zu benutzen und in dem Uhrwerk, wenn es nöthig, sowohl Flüssigkeitswirbel, wie gespannte Federn, wie noch ganz andere Energien als Ursachen der Bewegungen zuzulassen.

So stand die Sache auf dem Mars, als der Bericht über dieselbe von dort abgesandt wurde, und es ist noch nichts derart laut geworden, dass dieser Stand sich seitdem viel verändert habe oder dass solche Veränderungen auch nur in naher Aussicht stünden.



V.

Die Elektricität und die fundamentalen Grenzbegriffe der Physik.



Die einzelnen physikalischen Disciplinen laufen in ihrer Entwicklung einander nicht parallel, und ein ausnahmsweise schnelles Entwickeln der einen ist anfangs meist von einem verhältnissmässigen Stillstand der andern begleitet, weil eine besondere Fruchtbarkeit eines Gebietes alle Arbeitskräfte auf sich zieht. Auf der andern Seite aber beeinflussen sich die verschiedenen Gebiete doch auch insoweit, dass eine besonders rasche Entwicklung auf der einen Seite nach mehr oder weniger Zeit auch einen entsprechenden Fortschritt der andern nach sich zieht, und dass umgekehrt ein langes Stillstehen in einer Disciplin zuletzt die theoretische Entwicklungsgeschwindigkeit der andern ebenfalls verlangsamt.

Das zeigt sich besonders auch in der Entwicklung der Elektrik, die ja seit ihrem Entstehen im vorigen Jahrhundert am schnellsten von allen physikalischen Disciplinen vorgeschritten ist. Sie blieb von ihrem Ursprunge an länger als die andern Gebiete der Physik von der Idee einer Vermittlung aller ihrer Wirkungen durch das Ueberströmen subtiler Materien zwischen den Körpern beherrscht, um dann mit der immer grösser werdenden Festigung der NEWTON'schen Kräfteanschauung doch zur Annahme von fernwirkenden primitiven Anziehungs- und Abstossungskräften besonderer elektrischer Materien überzugehen. Erst als in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts auf optischem und dann auf thermischem Gebiete die absolute Herrschaft der actio in distans gebrochen und der Aether wieder als Vermittler physikalischer Wirkungen zwischen den ponderablen Materien aufgenommen worden war, da wagte FARADAY auch auf elektrischem Gebiete die actio in distans offen zu verwerfen und aus den elektrischen Flüssigkeiten wieder einen Aether ohne besondere elektrische Potenzen zu machen. Doch that selbst FARADAY das nicht ohne mehrfache Seitenblicke auf das mechanische Gebiet der Physik zu werfen, auf dem die actio in distans noch durchaus unerschüttert erschien. Vielmehr drängte es ihn, mehrfach zu verschiedenen Zeiten zu untersuchen, ob nicht trotzdem in einer oder der andern Weise die strenge Einheit der Naturkräfte, die Schwere nicht ausgeschlossen, zu wahren sei. Und als in dieser Richtung sowohl

seine Bemühungen, wie die mancher andern ihm Nachstrebender, resultatlos verliefen, da wirkte das auch auf die Lehre von der Elektricität zurück und viele Physiker behielten deswegen immer eine sehr vorsichtige Haltung gegenüber der neuen Faraday'schen Theorie bei. Auf diese Weise ist bis heute die Physik in ihren fundamentalen Begriffen eine zwiespältige Wissenschaft geblieben. Die viel gerühmte und viel bewunderte Einheit der Naturkräfte ist zwar in allen Wirkungen und Umwandlungen der Energie sicher constatirt, kann aber in Bezug auf das Wesen der dabei vorkommenden Kräfte noch von keinem Physiker wirklich begriffen oder gar nachgewiesen worden. Auf der einen Seite wirken alle Materien unvermittelt aufeinander bis in alle Entfernungen, auf Millionen und vielleicht Billionen Meilen hin, ohne dass diese Wirkungen durch Zwischenmaterien irgendwie gehemmt oder befördert würden. Der wachsende Raum vermindert zwar die Intensität der Kraft, aber hat keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung, die von der Zeit unabhängig ist. Auf der andern Seite beeinflussen entfernte Körper, wie z. B. leuchtende und beleuchtete, warme und kalte, einander nur durch gleichmässig den Raum erfüllende Zwischenmaterien, die durch ihre Bewegungen von Theilchen zu Theilchen die Wirkungen des einen Körpers auf den andern übertragen.

In der Mechanik und den ihr verwandten Gebieten ist alle Materie individualisirt und besteht von Ewigkeit her aus ganz bestimmten unabhängigen Theilen von ganz bestimmter Grösse und wohl auch Gestalt. In andern Gebieten bekümmert man sich um eine solche Individualisation so wenig, dass man die Materie auch als ein Continuum zu fassen vermag. Für die Mechanik ist der Raum zwischen den ponderablen Körpern vollkommen leer, für alle andern Disciplinen ist er vollständig, sogar in den Poren der Körper, mit Aether erfüllt. In der Mechanik findet nur die ponderable Materie Beachtung und der Aether wird vernachlässigt, in den übrigen Gebieten erlangt man gerade bei der Betrachtung des Aethers die günstigsten Resultate und geräth überall da in Schwierigkeiten, wo auch die ponderable Materie in ihrer Einwirkung nicht zu vernachlässigen ist. Für die eine Disciplin, die Mechanik, ist alle Materie direct wahrnehmbar, in den übrigen Disciplinen überwiegen die den Sinnen direct nicht zugänglichen Materien.

Und zu allen den verschiedenen Materien und ihren verschiedenen Kräften kommt in neuester Zeit noch ein neues Agens, das weder Materie noch Kraft sein soll, das vielmehr beider Eigenschaften und Wirkungen in sich vereinigt, nämlich die Energie hinzu. Für alle diese Materien, Kräfte und Energien ist gerade das Gebiet der Elektricität, das ja in sich Theile aller anderen physikalischen Gebiete mit umfasst, zu

allen Zeiten ein begünstigter Tummelplatz gewesen, und alle möglichen Anschauungen rühmen sich noch heute für mehr oder oder weniger Theile des Bereiches der Elektricität die fruchtbarsten Beherrschungsmomente zu geben.

Wie soll man sich solcher Vielheit und solchem Widerstreit gegenüber verhalten? Soll man streng an einem Fundament für die gesammte Wissenschaft festhalten, an einer Materie, deren Theile nur in verschiedener Bewegung sind, oder an einer primitiven, von der Bewegung unabhängigen Kraft, die in verschiedenen Materien nur nach verschiedenen Gesetzen wirkt, oder endlich an einer im Raum überall vorhandenen Energie, die sich nur in verschiedene Formen umwandelt? Soll man im strengsten Sinne nur das eine Fundament gelten lassen und die andern ohne jeden Compromiss als absolut irrthümlich verdammen. Oder soll man für verschiedene Theile der Wissenschaft und für verschiedene Entwicklungsstufen auch verschiedene Fundamente erlauben und die Einheit derselben ohne Bedenken preisgeben? Oder darf man endlich alle diese Ideen, soweit sie nicht den logischen Bedingungen unserer Erkenntniss widersprechen, für alle Wissenschaft gleichzeitig zulassen und nur von der Entwicklung der Wissenschaften selbst ihre Prüfung und Sonderung erwarten.

Ein solcher abwartender neutraler Standpunkt erscheint vielleicht von vornherein als der räthlichste. Doch müssen dann jene Fundamentalideen, wenn er überhaupt möglich sein soll, erst soweit bearbeitet werden, dass sie einander nicht mehr direkt widersprechen und ihr Nebeneinander unmöglich machen, und dazu bedarf es jedenfalls auch einer leisen logischen Umstimmung derselben.

Schon die Definitionen, durch welche man zu verschiedenen Zeiten das Wesen der Physik zu umfassen versucht hat, decken einander nicht völlig und heben einander theilweise auf. Selbst die allgemeinste derselben, „Physik, ist die Lehre von den Naturerscheinungen und ihren Ursachen“, zeigt sich von Widersprüchen nicht frei, sowie wir weiter nach dem Wesen der Erscheinungen und der Ursachen fragen. Alle Naturerscheinungen, soweit sie unseren Sinnen zugänglich sind, beruhen auf Bewegungen. Als Ursachen der Bewegungen aber kann man entweder wieder unzerstörbare, den Materien von ihrem Anfange an innewohnende Bewegungen oder elementare, den Materien anerschaffene Kräfte, oder endlich constante, aber leicht transformirbare, an den Raum gebundene Energien ansehen. Denkt man sich jede der drei Ursachen als ganz allgemein und allein ursprünglich wirksam, schreibt man also jeder derselben eine ausschliessliche Wirksamkeit zu, so erhält man daraus die drei historischen Definitionen der Physik, die seit dem Auftreten derselben als Wissenschaft einen Anspruch

darauf gemacht, das Wesen derselben zu bestimmen. Die Physik ist die Wissenschaft von den Ursachen oder Kräften, welche die in der unorganischen Natur vorgehenden Erscheinungen bedingen, das ist die Definition der Lehrbücher von NEWTON an bis in die sechziger Jahre dieses Jahrhunderts. Dann taucht wieder die früher zurückgedrängte andere Definition auf, nach der die Physik als die Lehre von den Bewegungen, als rein mechanische Physik, erklärt wird, und die neben und an Stelle der ersten sich mit grosser Schnelligkeit verbreitet. Endlich aber kommt noch eine neue dritte, die modernste dazu, die in der Physik als wirkende Ursache aller Veränderungen nur die Energie und die Physik nur als reine Energetik gelten lassen will.

Auch hier kommen wir also auf denselben Zwiespalt wie vorher. Welche von diesen Definitionen soll als die richtige anerkannt werden? Soll immer die neueste das alleinige Recht behalten? Oder darf man vielleicht auch zwei derselben oder alle drei zusammen gelten lassen? Auch das kommt vor allem auf die Art an, wie man die Definitionen versteht. Sieht man in der Definition eine Zusammenfassung des ganzen Wesens eines Dinges, dann kann es allerdings nur eine richtige Definition von demselben geben. Aber im Gebiete unserer Naturerkenntniss haben sich solche abgeschlossene Definitionen noch zu keiner Zeit und an keiner Stelle als möglich erwiesen. So lange wir Menschen uns selbst noch für entwicklungsfähig halten, so lange werden wir unsere Definitionen immer nur für unvollständig ansehen dürfen, und so lange wird es möglich sein, verschiedene Definitionen eines Naturdinges zu geben, die jede für sich besondere Gruppen von Eigenschaften desselben zur Kennzeichnung benutzen. Solche verschiedene Definitionen werden, wenn ihnen nur wahre Erscheinungsgruppen zu Grunde liegen, sich auch an keiner Stelle zu widersprechen brauchen und werden alle mehr oder weniger richtig und angemessen sein können. Das erkennt die moderne Wissenschaft insofern vielfältig an, als sie ihre Theorien auf verschiedene Analogien oder Bilder oder endlich Modelle gründet, von denen doch nur angenommen wird, das gewissen einzelnen ihrer Eigenthümlichkeiten gleiche einzelne Eigenthümlichkeiten der zu erklärenden Dinge entsprechen, obgleich sie sonst im Wesen ganz verschieden sind. Aber wenn auch auf diese Weise verschiedene Definitionen von dem Wesen der Naturdinge und der Physik logisch gleich zulässig sein können, so wäre doch ein Streit und ein Vernichtungskampf zwischen denselben immer noch insofern möglich, als die eine Definition die andere an Zweckmässigkeit und Angemessenheit übertreffen und dadurch vielleicht auch gänzlich ausschliessen könnte. Dann aber wäre diese Angemessenheit doch nur momentan gesichert und die-

selbe könnte mit der fortschreitenden Entwicklung sich gänzlich in ihr Gegentheil umkehren, so dass im Laufe der Entwicklung sehr verschiedene Definitionen aus Zweckmässigkeitsgründen mit einander abwechseln könnten und wohl auch mit einander abwechseln müssten.

Die Möglichkeit und die Vortheile einer Benutzung verschiedener Definitionen zeigen sich deutlich in der Entwicklung der mathematischen Physik. Fünf Grundbegriffe haben hier im Laufe der Zeit den Anspruch erhoben, alle übrigen physikalischen Begriffe mathematisch auszuschöpfen und die Grössenverhältnisse aller Erscheinungen messend zu bestimmen. Das sind Raum, Zeit, Masse, Kraft und Energie. Aber nur drei von diesen Begriffen sind bei diesen Bestimmungen wirklich nothwendig und nur drei sind Fundamentalbegriffe, die anderen können immer aus diesen abgeleitet werden. Von Raum und Zeit ist das Primitive der Anschauung nie bestritten worden, so bleibt nur noch die Wahl, ob Masse, Kraft oder Energie den dritten Grundbegriff bilden sollen. Für die Kraft hatte sich die NEWTON'sche Physik entschieden, ihre Grundmaasse waren die Länge, die Zeit und die Kraft, oder Centimeter, Sekunde und Grammgewicht. Merkwürdiger Weise aber waren es gerade noch Anhänger der NEWTON'schen Kraftanschauung, wie GAUSS und WEBER, die an Stelle der Kraft als fundamentaler Maasseinheit die Masse setzten und dadurch das sogenannte absolute Maasssystem begründeten, das in seinen Fundamentaleinheiten, dem Centimeter, der Sekunde und der Grammmasse nur noch kinetische Elemente und die Kraft nicht mehr enthielt. Indessen kann man schon WILHELM WEBER nicht mehr als reinen Dynamiker bezeichnen, da er in seinem berühmten elektrodynamischen Grundgesetze die Wirkung elektrischer Massen nicht mehr von der Spannkraft allein, sondern auch von der Bewegung abhängig machte. In neuester Zeit haben dann die Energetiker auch noch die Masse als Fundamentaleinheit ebenso wie die Kraft eliminirt und an ihre Stelle die Einheit der Energie gesetzt, so dass nun die drei absoluten Einheiten, wie Professor OSTWALD im Jahre 1891 vorgeschlagen hat,[1]) Centimeter, Sekunde und Erg sein sollen.

Für die mathematische Behandlung hat ein solcher Wechsel der Maasssysteme auch keine weiteren Schwierigkeiten. Da zwischen den drei Ein-

---

[1]) W. OSTWALD: Studien zur Energetik. Berichte über die Verhandlungen der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Mathematisch-physische Classe, XLIII. Bd., S. 271, 1891; XLIV. Bd., S. 211, 1892.

heiten der Masse m, der Kraft K und der Energie E zwei von einander unabhängige Gleichungen, nämlich $K = m \frac{d^2s}{dt^2}$ und $E = K \cdot s$, bestehen, so lassen sich mit Hülfe der bestimmten Einheiten des Raumes und der Zeit zwei jener Einheiten immer leicht aus der dritten ableiten und es ist also mathematisch vorerst ganz gleichgültig, welche derselben man als Fundamentaleinheit wählen will. Selbst an mathematischer Zweckmässigkeit werden sich die drei Einheiten, da ihr Zusammenhang ein so einfacher ist, kaum unterscheiden und es könnte sich, wenn die drei an Werth doch ungleich sein sollen, nur um physikalische Zweckmässigkeit oder metaphysische Angemessenheit handeln.

Des grossen Interesses wegen, das die Idee verdient, müssen wir hier noch eines Versuches gedenken, den Sir WILLIAM THOMSON, jetzt Lord KELVIN, im Jahre 1883 in einem Vortrage über die elektrischen Maasseinheiten[1]) gemacht hat, um die Dreiheit der fundamentalen Maasseinheiten scheinbar, müssen wir hinzufügen, auf eine Zweiheit von Raum und Zeit zurückzuführen. THOMSON machte in dem erwähnten Vortrage darauf aufmerksam, dass man zu den oben erwähnten zwei Gleichungen zwischen den fünf erwähnten Einheiten noch eine dritte finden könne, die ebenfalls nur die Fundamentalgrössen enthielte. Diese Gleichung ist die aus der theoretischen Mechanik der Himmelsbewegungen bekannte Formel für die Umlaufszeit eines Planeten oder Trabanten um seinen Centralkörper. Bezeichnet man die Masse des Centralkörpers mit M, die seines Trabanten mit m, ihre Entfernung mit a, ihre Umlaufszeit mit T, und nimmt die Kraft, welche die Masseneinheiten in der Einheit der Entfernung aufeinander ausüben, ebenfalls als Krafteinheit, so ist bekanntlich $M + m = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$. Nimmt man dann noch die Masse des Planeten gegen die des Centralkörpers als verschwindend klein an, so erhält man $M = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$, und die Masse ist also ausgedrückt allein durch Raum und Zeit, wonach auch Kraft und Energie gleich reducirbar erscheinen.[2]) Aber

[1]) Popular Lectures and Adresses by Sir WILL. THOMSON, vol. I, London 1889: Electrical Units of Measurement (A Lecture delivered at the Institution of Civil Engineers on May 3, 1883), p. 73.

[2]) THOMSON, Popular Lectures, vol. I, p. 97: „It is nevertheless interesting not only in respect to the ultimate philosophy of metrical systems, but also as full of suggestions regarding the properties of matter, to work out in detail the idea of founding the measurements of mass and force on no other foundation than the measurement of length and time. In doing so we immediately find that the square of an angular velocity is the proper measure of density or mass per unit-volume.“ Denkt man sich

das ist doch wohl eine Täuschung, denn das T in der obigen Massenformel ist doch nicht ohne Weiteres zu verbinden mit einem t in der Formel, nach welcher die Kraft aus Masse und Beschleunigung berechnet wird. Diese Grösse bedeutet nicht eine Zeit, in welcher eine gradlinige Strecke, sondern eine solche, in welcher ein Kreisbogen durchlaufen wird. Der Ausdruck $\frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$ oder $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 . a^3$ für die Masse ist nicht auf eine Geschwindigkeit schlechthin, sondern nur auf eine Winkelgeschwindigkeit oder vielmehr das Quadrat derselben $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ zu reduciren und das ist ein grosser Unterschied. Gewöhnliche Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sind gradlinige Strecken, Winkelgeschwindigkeiten aber sind Kreisbögen.

Mathematisch sind nun allerdings Kreisbögen auf Längen, also auf grade Linien, ihrer Grösse nach reducirbar, aber physikalisch ist eine solche Identificirung nicht ohne Weiteres richtig, denn die Bewegung in einer graden Linie ist auch ohne Kraft nur durch Beharrung möglich, die Bewegung in einer krummen Linie aber erfordert immer eine Kraft und für den Angriff derselben auch eine Masse. Eine Winkelgeschwindigkeit ist nicht wie eine translatorische Geschwindigkeit auf Raum und Zeit schlechthin zurückzuführen, denn sie enthält in sich den Begriff der Richtungsveränderung, wodurch eben der Begriff der Masse bedingt wird. Und da die Kraft durch das Produkt aus Masse und Beschleunigung ausgedrückt wird, so sehen wir, dass auch die Kraft neben den Fundamentalgrössen des Raumes und der Zeit auch noch die Richtungsveränderung in sich enthält und durch diese mit bestimmt wird. So könnten wir wohl sagen, dass man als fundamentale Einheit für physikalische Grössenbestimmungen statt der Masse wohl einen noch mehr fundamentalen Begriff, den der Winkelgeschwindigkeit verwenden könnte und für die Philosophie der Materie ist dieser Gedanke auch von höchstem Interesse, aber auf Länge und Zeit allein ist die Winkelgeschwindigkeit sicher nicht reducirbar und von einer Zweiheit der fundamentalen physikalischen Einheiten kann darum doch keine Rede sein.

---

nämlich den oben angenommenen unendlich kleinen Trabanten unmittelbar an der Oberfläche des Centralkörpers rotirend, so dass a gleich dem Radius des letzteren wird, so erhält man für die Dichte D dieses Centralkörpers aus der obigen Massenformel den Werth $D = \frac{3}{4\pi} \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ oder, wenn wir die Winkelgeschwindigkeit des Trabanten mit W bezeichnen,

$$D = \frac{3}{4\pi} . W^2 .$$

Gehen wir wieder auf den Begriff unserer Wissenschaft zurück, so müssen wir vorläufig zu dem Resultate kommen, dass keine der aufgestellten Definitionen an sich unrichtig ist, und dass jede derselben ein Stück des Wesens der Physik charakterisirt, wenn sie auch nicht das Ganze direkt enthält. In diesem letzten Moment aber liegt die Wurzel des Streites. Indem jede der Definitionen den Anspruch erhebt, das Wesen der Wissenschaft allein zu umfassen, schliesst sie die andern von diesem Gebiete aus. Aus dem berechtigten Anspruche, dass die Physik alle Kräfte, oder alle Bewegungen, oder alle Energien der Natur zu behandeln hat, wird der andere nicht zu billigende, dass alle Erscheinungen nur von Kräften, oder nur von Geschwindigkeiten, oder nur von Energien abgeleitet werden sollen. Es liegt in der menschlichen Natur, dass jedes Princip in seiner Geltung bis an die Grenzen der Erkenntniss ausgedehnt wird; demgemäss erheben die Dynamik, wie die Kinetik, wie die Energetik jede für sich den Anspruch die Naturveränderungen bis in ihre letzten Ursachen allein aus ihrem Fundamentalprincip abzuleiten, so dass keine von ihnen einen unerklärten Rest lässt, der ihrem Ansehen schaden und ihre Anhänger in der Ueberzeugung von ihrer alleinigen Berechtigung und Richtigkeit unsicher machen könnte.

Am absolutesten hat sich in solcher Exclusivität die Dynamik auf Grund einer seit zwei Jahrhunderten sich ungestört entwickelnden Scholastik ausgebildet. Sie definirt ihren fundamentalen Begriff, die Kraft, nicht mehr schlechthin als Ursache einer Bewegung, sondern versteht unter Kraft nur eine solche Ursache, welche vor aller Bewegung und unabhängig von ihr ist. Dadurch wird der alte logische Grundsatz von der Gleichheit der Ursache und Wirkung aufgehoben und der Begriff der Kraft physikalisch so leer, dass er kaum mehr als Ausschliessungen enthält. Aus dieser Definition der Kraft folgt, dass dieselbe nicht wieder Bewegung sein kann, sie soll vielmehr vor aller Bewegung sein. Da aber unsere sinnliche Erkenntniss mit den Sinneseindrücken, und also auch mit der Bewegung beginnt, so muss danach auch die Kraft vor jeder Sinneserkenntniss oder noch vor jeder Erfahrung existiren. Der Kraftbegriff in diesem Sinne kann also in der Erfahrung und durch die Erfahrung niemals aufgezeigt, sondern muss derselben vorausgesetzt werden; er ist darum kein Begriff der Physik, sondern höchstens ein Begriff einer aller Erfahrung zu Grunde liegenden Metaphysik. Jener absolute Begriff der Kraft ruht auf dem fortgesetzten Schlusse von der Wirkung auf die Ursache. Jede Naturerscheinung muss ihre Ursache haben, und wenn diese Ursache wieder Erscheinung ist, so muss auch diese wieder durch irgend etwas verursacht sein, und so zwingt das Gesetz der Causalität fort-

zuschreiten bis zu einer Ursache, die keine Erscheinung und also auch keine Bewegung mehr ist, also bis zu einer letzten Ursache, die aber darum nicht mehr im Gebiete der Natur liegen, nicht mehr Erscheinung sein kann und also metaphysisch sein muss. Unser grosser Philosoph KANT hat gezeigt, dass die Gültigkeit des Causalitätsgesetzes für alle wissenschaftliche Naturerkenntniss die Reihe der Ursachen in der Natur zu einem progressus in infinitum macht und hat damit die Entdeckung solcher letzten Ursachen, wie Gott, Seele und Welt, aus der Natur in die Metaphysik verwiesen. Bei der Idee der Kraft hat er aber befangen im Anschauungskreise der NEWTON'schen Physik, den progressus in infinitum übersehen, der die Kraft als eine letzte Ursache, als eine Ursache vor aller Bewegung in der Physik zu erreichen unmöglich macht und hat darum in seiner Kritik der reinen Vernunft diesen metaphysischen Begriff wie einen Erfahrungsbegriff seiner Naturphilosophie zu Grunde gelegt. Doch tritt in einem nachgelassenen, nur in den Anfängen vorhandenen Werke „vom Übergange von den metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft zur Physik" [1]) dieser absolute Kraftbegriff schon mehr zurück und scheint nur noch in einem mehr metaphysischem Sinne als die letzte Bedingung jeder Einheit in der Materie gebraucht zu werden. Jedenfalls leitet KANT hier manche physikalische Erscheinungen, wie die Adhäsion und Cohäsion, die sonst nur durch primitive Kräfte erklärt wurden, aus Bewegungen der kleinsten Theile der Materie ab.

Fast noch unmöglicher als die erste ist die zweite absolute Bestimmung der Kraft, die Unabhängigkeit von aller Bewegung; und doch erscheint auch sie vom absoluten Standpunkt aus notwendig. Würde man zulassen, dass die Kraft sich mit Durchlaufung aller räumlichen Zwischenstufen zeitlich von einem Körper bis zum andern ausbreitet, so würde man einen Zusammenhang der Kraft mit und schliesslich eine Abhängigkeit von der Bewegung constatiren. Proklamirt man aber wirklich die Kraft als eine durchaus unvermittelte und momentane Fernwirkung eines Körpers auf einen andern, ohne alle Abhängigkeit von Zwischenraum, so verliert die Kraft jeden Inhalt von Raum und Zeit und kann deswegen für uns nie Erscheinung werden, da alle unsere Naturerkenntniss ausnahmslos in Raum und Zeit gefasst sein muss. So wird auch durch die Idee der unvermittelten Fernwirkung der Begriff der Kraft in seiner absoluten Form abermals aus der Naturwissenschaft hinausgewiesen und nur an den Grenzen derselben gegen die Metaphysik gestattet.

---

[1]) Vergl. ROSENBERGER, Geschichte der Physik, III. Theil, S. 36.

[illegible] Dynamik ist sicherlich in der Physik un-
[illegible] absolute Kinetik ist nicht streng
[illegible] Schwierigkeiten, welche die absolute
[illegible] an bis auf unsere Zeit bei tiefer ein-
[illegible] gefunden, hat die Kinetik sich das
[illegible] Dynamik überhaupt aus der Physik aus-
[illegible] die alleinige Herrschaft zusprechen.
[illegible] Angriffe weniger gegen die Kraft als einer
[illegible] vielmehr gegen die Unabhängigkeit der
[illegible] von Zeit und Raum gerichtet. Und das
[illegible] Frage nach den letzten Gründen der Er-
[illegible] aller Naturerkenntniss weit zurück,
[illegible] nach der Abhängigkeit der Wechselwirkung
[illegible] Körpern vom Zwischenmedium immer
[illegible] geworden ist. Für die Optik und
[illegible] die Entscheidung seit der ersten Hälfte
[illegible] kinetischen Sinne gefallen. Jetzt hatten
[illegible] auch für die elektrischen Erscheinungen
[illegible] Sinne herbeigeführt. Da war denn die
[illegible] nicht ganz unberechtigt, dass auch alle
[illegible] vor allem die mechanischen mit ihren
[illegible] Weise ohne actio in distans zu erklären
[illegible] Behauptung war leichter als der Beweis und
[illegible] Schwierigkeiten wusste man doch fak-
[illegible] der Kraft als einer unbekannten Ursache
[illegible] und so hat sie sogar noch MAXWELL an
[illegible] ohne Bedenken verwendet.

[illegible] kinetische Wissenschaft ist ebenso wie die
[illegible] möglich. Das Wort Kraft in seinem absoluten
[illegible] ein Popanz in der Wissenschaft; aber das
[illegible] als Ausdruck für eine noch oder auf
[illegible] verborgene Ursache wird nicht zu ent-
[illegible] Wir können allerdings sagen, dass alle Ver-
[illegible] der Natur ihrer Ursache nach nur in Raum
[illegible] durch Bewegung von uns begriffen werden
[illegible] wir können nicht sagen, dass die letzten Be-
[illegible] derselben immer wieder Bewegungen sind. Alle
[illegible] sind an den Begriff des erfüllten Raumes ge-
[illegible] denn wir vermögen uns keine Umwandlung der Be-
[illegible] denken, ohne ein Substrat, an dem diese Verwandlung
[illegible] Jede Veränderung oder Verschiedenheit der
[illegible] setzt darum einen Zusammenhang in der Materie
[illegible] Widerstand, der eben darum nicht wieder Be-
[illegible] kann. Diesen letzten Zusammenhang in den
[illegible] Materie hat man wohl, um den Begriff der Kraft
[illegible] als absolute Starrheit der Materie bezeichnet,
[illegible] doch nur für die Kraft als einer letzten Ursache

der Bewegungsveränderungen einen neuen Namen gefunden; wo der alte Name Kraft richtig verstanden ebenso passend war. Die Dynamik hatte vielfach die Schwierigkeit der Frage nach den letzten Theilen der Materie dadurch umgehen können, dass sie als einfachste Bestandtheile derselben Kraftpunkte annahm. Die Kinetik ist durch ihren Fundamentalbegriff der Bewegung stärker an eine wirkliche Erfüllung des Raumes gebunden und vermag mit materiellen Punkten und leeren Räumen durchaus nichts anzufangen. Einige Kinetiker haben darum, ins Extreme gehend, wie z. B. FARADAY, zuletzt sich der philosophischen Auffassung einer continuirlichen Raumerfüllung zugeneigt, sind aber dann wieder mit der Individualisirung der Materie und der Erscheinungen in Schwierigkeiten gerathen. Mit Nothwendigkeit; denn durch jede Einzelbewegung schon wird die Materie anschaulich individualisirt und in Theile getheilt und umgekehrt setzt jede Bewegung solche individualisirte Theile voraus. Wir stossen hier eben wieder in unserer Erkenntniss auf einen nothwendigen progressus in infinitum, der von der herrschenden Form der Atomistik vielfach übersehen worden ist. Muss jede Materie als aus Theilen zusammengesetzt gedacht werden, so muss auch jeder Theil, der noch Materie ist, wieder aus einzelnen Theilen bestehen. Jedes Ganze besteht in unserer diskursiven Erkenntnis aus Theilen und jeder Theil ist in diesem Sinne Ursache des Ganzen. Wir werden deshalb auch hier durch das Causalitätsprincip getrieben, die Theilung immer weiter fortgesetzt zu denken, aber auf einen letzten Theil werden wir dabei doch niemals kommen. Schon haben sich Physiker und Chemiker genöthigt gesehen, die unfassbaren Molecüle in Atome zu theilen und auch die Atome unserer Elemente sind nach der Ansicht der meisten Chemiker noch zusammengesetzt. Es ist durchaus nicht unmöglich, dass wir auch solche Theile, wie unsere jetzigen chemischen Molecüle und Atome, noch einmal als ausgedehnte Materien direct wahrnehmen lernen, aber dann werden wir auch diese Theile wieder als getheilt annehmen müssen und diese fortgehende Theilung wird vielleicht mit der Entwicklung der menschlichen Erkenntniss immer weiter gehen; nur letzte untheilbare Atome werden wir sicher nie erreichen. Deswegen aber hindert uns Nichts, für eine bestimmte Stufe der Erkenntniss unmerkbar oder unfassbar kleine Theile anzunehmen, wenn wir sie nur nicht als letzte Theile ansehen, und danach ist eine relative Atomistik und schliesslich sogar die Annahme einer vollständigen Raumerfüllung unserem Erkenntnissvermögen durchaus angemessen. Alle diese Schwierigkeiten haben grade in der neueren Zeit, weil man sie in einem absoluten Sinne nahm, einen gewissen Skepticismus erzeugt, der die dunklen Begriffe, wie Masse und Kraft, am liebsten ganz

aus der Physik entfernen möchte. Diesem nachgebend hat man, nachdem die Constanz der Energie bei allen Naturvorgängen erkannt war, wie schon bemerkt, für die Ausmessung aller physikalischen Grössen neben Raum und Zeit als dritte Fundamentalgrösse statt der Kraft oder der bewegten Masse, die Energie vorgeschlagen und hat sich bemüht, alle Naturerscheinungen auf die Umänderung der Verhältnisse von Raum, Zeit und Energie zurückzuführen.

W. Ostwald[1]) wirft der mechanischen Auffassung, die mit den Fundamentalbegriffen Masse und Kraft arbeitet, vor, dass erstens die Zurückführung gewisser physikalischer Begriffe, wie der Temperatur beispielsweise, auf Masse und Kraft noch nie wirklich gelungen ist, dass zweitens der Versuch, alle physikalischen Grössen eindeutig durch Masse oder Kraft auszumessen in der Thermodynamik wie in der Elektrik immer gescheitert ist und dass drittens endlich die Annahme, alle Naturkräfte könnten auf einerlei Art, nämlich Centralkräfte, zurückgeführt werden, nur zu unlösbaren Schwierigkeiten geführt hat. Er will darum statt der hypothetischen, materiellen Punktsysteme und ihrer Kräfte, die die Forschung nicht erleichtert, sondern erschwert haben, als Fundamentalbegriff zu Raum und Zeit die Energie setzen, der einzigen Grösse, welche wirklich allen Gebieten der Physik und Chemie gemeinsam ist. Dann ist aber die Energie auch nicht als eine mathematische Abstraction, sondern vielmehr als ein reales Wesen anzusehen und alle anderen physikalischen Grundbegriffe sind aus ihr (oder vielmehr ihren zwei Arten, der Bewegungsenergie und der Distanz- oder Raumenergie) abzuleiten. Masse wird danach die Capacität für kinetische, Schwere die Capacität für Raumenergie, Undurchdringlichkeit die Capacität für Energie des Volumens u. s. w. Statt des Lagrange'schen Princips aber als eines mechanischen fundamentalen Gleichgewichtsgesetzes tritt nun der neue, die Physik wirklich allgemein umfassende Satz auf: Damit ein beliebige Energieformen enthaltendes Gebilde sich im Gleichgewichte befindet, ist nothwendig und zureichend, dass bei jeder mit den Bedingungen des Gebildes verträglichen Verschiebung desselben die Summe der entstehenden und verschwindenden Energiemengen gleich Null ist.

Ostwald hält dafür, dass das aus Raum, Zeit und Energie zusammengesetzte das einzige zur Zeit mögliche allgemeine System von Einheiten ist, und dass in der That auch das bisherige System der sogenannten absoluten Messungen praktisch wie wissenschaftlich keinen andern Zweck hat, als

---

[1]) W. Ostwald, Studien zur Energetik. Ber. ü. d. Verhandl. d. K. S. Ges. d. Wissenschaften z. Leipzig 1891, Math.-phys. Klasse, S. 271.

für die Mengeneinheit der Energie in ihren verschiedenen Formen ein einheitliches Maass festzusetzen. Zwar muss er zugeben, dass auch die drei Einheiten Raum, Zeit und Energie bei den gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft ausser in der Mechanik nicht zu einer ganz bestimmten Definition aller physikalischen Grössen ausreichend sind, aber er hält das dadurch für ausgeglichen, dass man in jedem Gebiete der Physik wenigstens einen Faktor der Energie willkürlich so zu bestimmen vermag, dass man dann mit Hülfe von Raum und Zeit auch sämmtliche übrigen Begriffe dieses Gebietes ableiten kann. [1]) Obgleich nun augenscheinlich mit dieser Zugabe, die ersten zwei der Vorwürfe, welche oben der mechanischen Physik gemacht wurden, auch für die Energetik noch als gültig anerkannt werden, so ist doch nicht zu erkennen, dass die Energetik für die Behandlung vieler physikalischen Probleme

---

[1]) W. Ostwald, Studien zur Energetik, Ber. d. K. S. Ges. d. Wissensch. 1891, Math.-phys. Klasse, S. 274: „Und doch ist es keinem Zweifel unterworfen, dass die wichtigste Aufgabe der messenden Wissenschaften zur Zeit die allseitige Durcharbeitung des Energiebegriffs ist. Denn ausser den allgemeinen Anschauungsformen des Raumes und der Zeit ist die Energie die einzige Grösse, welche allen Gebieten gemeinsam ist. Die wechselseitige Umwandlung der verschiedenen Energieformen ist das einzige Band, welches Wärme- und Elektricitätslehre, Chemie und Mechanik vereinigt; ohne diese bleiben sie alle einflusslos und unabhängig nebeneinander bestehen. Es liegt deshalb nahe, in der Energie ein reales Wesen, nicht nur eine mathematische Abstraction zu sehen. Vor vier Jahren habe ich diesen Gedanken bei Gelegenheit meiner Leipziger Antrittsvorlesung betont (Die Energie und ihre Wandlungen, Leipzig, W. Engelmann, 1887) ... Bisher bin ich indessen noch so weit in den gebräuchlichen Vorstellungen von der Realität der Materie befangen gewesen, dass ich höchstens der Energie eine gleichberechtigte Stellung als Substanz neben der Materie anzuweisen wagte. Meine inzwischen begonnenen eingehenderen Untersuchungen über die Eigenschaften und das Wesen der Energie haben mich indessen weiter geführt. Je mehr ich mich mit letzteren vertraut machte, um so deutlicher stellte es sich heraus, dass die Materie nichts anderes ist, als ein Complex von Energiefactoren, welche die Eigenschaft besitzen, untereinander proportional zu sein. In der That erweisen sich die traditionellen Eigenschaften der Materie als Factoren, oder wenn man will, Ausdrucksformen der Energie ... Auf diese Weise verschwindet bei eindringender Forschung die Materie mehr und mehr hinter der Energie, und letztere vertauscht unwiderstehlich die frühere untergeordnete oder höchstens gleichberechtigte Stellung mit der unbedingten Vorherrschaft." — S. 282: „Die drei Einheiten Raum, Zeit und Energie sind zwar im Allgemeinen nothwendig zur Definition der physikalischen Grössen, sie sind aber bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft ausser in der Mechanik nicht dazu genügend. Denn durch Verbindung der Raum- und Zeitgrössen erlangt man nur mechanische Begriffe, und in allen anderen Gebieten ist noch etwas Besonderes enthalten, was keiner weiteren Auflösung bisher unterworfen werden konnte. Der einzige Weg, den man hier überall gehen kann, ist der, einen der Factoren der Energie willkürlich so zweckmässig als möglich in jedem Gebiete zu bestimmen. Dies genügt in allen Fällen, um mit Hülfe von Raum und Zeit sämmtliche übrigen Begriffe des fraglichen Gebietes abzuleiten."

ihre entschiedenen Vorzüge hat und einem kräftigen Zuge unserer modernen Physik entspricht. Leider ist eben auch die Energetik gerade so wenig wie die Kinetik und die Dynamik von inneren Schwierigkeiten frei und ist, im absoluten ausschliesslichen Sinne genommen, ebenso unmöglich wie diese letzteren, selbst wenn wir zugeben wollten, dass das Princip von der Erhaltung der Energie wirklich für alle Naturvorgänge als ein fundamental gültiges ohne Weiteres angenommen werden könnte.[1] Die Constanz der Energie bei allen ihren Wandlungen ist wohl, wenn wir dieselbe als Substanz fassen, axiomatisch anzunehmen und ist eigentlich mit dem Begriff der Substanz schon festgestellt; dafür aber bedarf es jedenfalls noch einer besonderen Untersuchung darüber, ob wirklich alle Transformationen der Energie von selbst vor sich gehen und ob nicht viele solcher Transformationen zu ihrem Eintreten noch einer besonderen Ursache bedürfen, die unter dem Energiegesetz nicht mit begriffen ist. Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie ist das Resultat einer solchen Untersuchung für die Wärme, und ganz allgemein ist bekannt, dass gewisse Energieformen das Bestreben haben, von selbst in andere Formen überzugehen, während diese wieder nicht ohne einen Verlust an Energie (oder Dissipation oder Degradation, wie W. Thomson und Tait[2]) sich ausdrücken) in die ersten zurückzuverwandeln sind. Ja selbst bei Wandlungen, die in der Tendenzrichtung der Energie liegen[3]), wird es oft noch eines Verbrauchs an Energie bedürfen, der im Energiegesetz nicht vorgesehen ist. Schon der erste Entdecker des Energiegesetzes J. R. Mayer[4]) hat in einer kleinen Ab-

---

[1]) W. Ostwald, Studien zur Energetik, Ber. d. K. S. Gesellsch. d. Wiss. 1891, math.-phys. Klasse, S. 276: „Soweit ich es bis jetzt übersehen kann, enthält dieser Satz (der fundamentale energetische Gleichgewichtssatz) in der That die Theorie sämmtlicher Gleichgewichtszustände und gestattet, in kürzester Form die Bedingungsgleichungen zu finden, wenn die Beschaffenheit des Gebildes und die Art der in demselben vorhandenen Energien gegeben ist. Ein Beweis in Gestalt einer Ableitung aus anderen Sätzen kann für denselben naturgemäss nicht gegeben werden, da er als zunächst allgemeinster Satz keinen über sich hat, aus dem er abgeleitet werden könnte.“

[2]) W. Thomson, On an Universal Tendency in Nature to the Dissipation on Mechanical Energie, Philosophical Magazine, 4. Serie, IV, p. 304, 1852. Vorlesungen über einige neuere Fortschritte der Physik v. P. G. Tait, Braunschweig 1877, S. 123.

[3]) G. Helm, Die Lehre von der Energie, Leipzig 1887. Helm schreibt jeder Energie eine Tendenz für eine gewisse Richtung ihrer Umwandlungen zu. „Jede Energieform hat das Bestreben, von Stellen, in welchen sie in höherer Intensität vorhanden ist, zu Stellen niederer Intensität überzugehen. Sie heisst ausgelöst, wenn sie diesem Streben folgen kann“ (S. 62).

[4]) J. R. Mayer, Ueber Auslösung, Stuttgart 1876.

handlung darauf aufmerksam gemacht, dass es bei höheren Energieformen einer gewissen Hemmung bedarf, wenn sie sich nicht fortwährend in niedere umwandeln sollen und dass die Hemmungen erst wieder entfernt werden müssen, wenn diese Umwandlung wirklich vor sich gehen soll. Diese Auslösungen aber hält J. R. Mayer nicht durch Einheiten, wie die der Energie, wirklich ausmessbar und auch dadurch wird dem Satze von der Gleichwerthigkeit aller Energieformen eine gewisse Grenze gesetzt. Aber lassen wir die hier auftretenden Begriffe der nutzbaren Energie und der Auslösung auch bei Seite und nehmen wir alle Arten der Energie für gleichwerthig, so erscheint doch, eben wegen der verschiedenen nicht aufeinander reducirbaren Arten von Energie, der einfache substantielle Charakter der Energie selbst noch mehr als zweifelhaft. Alle unsere Naturbeobachtung hebt beim eigenen Körper, bei der eigenen Person an, und in gewissem Sinne ist es sicherlich richtig, dass alle Bilder, die wir uns von der Natur und den Naturdingen machen, nichts weiter sind als Projectionen unseres eigenen Selbst. Uns selbst aber empfinden wir als zusammengesetzt aus Körper und Seele, aus lebloser Materie und dem allein willenskräftigen Ich. Dem entsprechen in der Natur ausser uns in ganz bestimmter Weise die Ideen von Materie und Kraft. Danach erscheint es von vornherein aussichtslos, die Energie als einen einfachen Begriff in die Physik einführen und die Schwierigkeiten. die in den Begriffen der Kraft und der Masse liegen, durch gänzliches Ignoriren derselben mit Hülfe der Energie vermeiden zu wollen. Es ist gewiss richtig, dass die Energetik manche Schwierigkeiten der uns so nothwendig erscheinenden atomistischen Auffassung der Materie vermeiden kann, indem sie sich an die einfache Uebertragung der Energie hält und ein Eingehen auf die innere Gestaltung der Materie negirt. Aber der Begriff der reinen Volumenenergie, der sich damit herausbildet, die Bindung der Energie an den Raum ohne Vermittelung gestalteter Materie, erscheint, wenn sie für mehr als blosse Hülfsconstruction gelten und substantiell verstanden werden will, ebenso unmöglich wie alle absoluten Ideen in der Naturwissenschaft.

Heinrich Hertz, dem wir bei der Kritik der drei wissenschaftlichen Systeme bisher vielfach gefolgt sind, spricht sich darüber in seiner Schrift „Die Principien der Mechanik“ sehr treffend aus. „Mehrere ausgezeichnete Physiker, sagt er[1]), versuchen heutzutage, der Energie so sehr die Eigenschaften der Substanz zu leihen, dass sie annehmen, jede kleinste Menge derselben sei zu jeder Zeit an einen bestimmten Ort des Raumes

[1]) Die Principien der Mechanik, in neuem Zusammenhange dargestellt von Heinrich Hertz, Leipzig 1894, S. 25 u. f.

geknüpft und bewahre bei allem Wechsel desselben und bei aller Verwandlung der Energie in neue Formen, dennoch ihre Identität. Zu einem befriedigenden und abschliessenden Ergebniss scheint diese ganze Anschauungsweise noch nicht gelangt. Eine besondere Schwierigkeit muss auch von vornherein der Umstand bereiten, dass die angeblich substanzartige Energie in zwei so gänzlich verschiedenen Formen auftritt, wie es die kinetische und die potentielle Form sind. Die kinetische Energie bedarf im Grunde an sich keiner neuen Grundbestimmung, da sie aus den Begriffen der Geschwindigkeit und der Masse abgeleitet werden kann; die potentielle Energie hingegen, welche eine selbstständige Feststellung fordert, widerstrebt zugleich jeder Definition, welche ihr die Eigenschaften einer Substanz beilegt. Die Menge einer Substanz ist eine nothwendig positive Grösse, die in einem Systeme enthaltene potentielle Energie scheuen wir uns nicht, als negativ anzunehmen. Endlich kann der Inhalt eines physikalischen Systems an einer Substanz nur abhängen von dem Zustande des Systems selbst, der Inhalt gegebener Materie an potentieller Energie aber hängt ab von dem Vorhandensein entfernter Massen, welche vielleicht niemals Einfluss auf das System hatten. Ist das Weltall und damit die Menge jener entfernten Massen unendlich, so wird der Inhalt auch endlicher Mengen von Materie an vielen Formen potentieller Energie unendlich gross. Dies sind alles Schwierigkeiten, welche durch gesuchte Definition der Energie beseitigt oder umgangen werden müssten."

So erscheint also auch eine Auffassung der Energie als einer letzten unbedingten und unveränderlichen Ursache unmöglich, womit die Idee einer absoluten Naturwissenschaft überhaupt fällt. Es ist ja natürlich, dass jede geltende umfassende Theorie und jedes System der Wissenschaft ihre Grundlagen als unveränderliche, als letzte, unverbesserliche Fundamente der Wissenschaft anzusehen und auszugeben bestrebt sind, weil dadurch ihr Ansehen und vor Allem ihre Sicherheit scheinbar bis ins Unvergleichliche gesteigert werden. In der That aber hebt sich jedes System der Naturwissenschaft, das seine Fundamente für unveränderlich ausgiebt, damit von selbst auf. Das Causalitätsprincip, dessen Gültigkeit in der Naturwissenschaft nicht bestritten werden kann, fordert eine ohne Ende sich fortentwickelnde Wissenschaft; und ein System, das sich als abgeschlossen, auf letzter Grundlage ruhend, darstellt, erreicht dadurch nicht erhöhte Sicherheit, sondern zeigt damit im Gegentheil an, dass es der Natur nicht angemessen und also unrichtig ist.

Geben wir aber die Ansprüche letzter Hand, die Charakterisirung der Fundamente als absoluter auf, so widersprechen sich auch die drei physikalischen Anschauungsweisen, die

Dynamik, die Kinetik und die Energetik, nicht mehr; sie können sehr gut nacheinander sich entwickeln und ebenso gut in der Wissenschaft zusammen bestehen. Der eine Forscher kann überall nach den weiter zurück liegenden Bewegungen suchen, durch welche die erscheinenden Bewegungen entstanden und in ihren Gesetzmässigkeiten bedingt sind. Der andere Forscher aber kann ebensowohl sich mehr auf die Beobachtung der vor ihm in Erscheinung tretenden Bewegungen beschränken und ihre noch unbekannten Ursachen ohne weitere Bestimmung desselben als Kräfte bezeichnen. Ein dritter Forscher endlich kann mit gleichem Rechte nach beiden Richtungen seine Untersuchungen einschränken und sich ganz auf die Bestimmung der in den Erscheinungen auftretenden Umwandlungen der Energie begrenzen. Je nach Anlage und Neigung werden die gelehrten Arbeiter sich auf die drei Untersuchungsmethoden vertheilen, doch wird diese Vertheilung keine gleichmässige sein, sondern vielfach nach dem jeweiligen Entwicklungszustande der Wissenschaft und ihrer Theile sich ändern. Die eine Untersuchungsmethode, welche zu einer Zeit die fruchtbarste war, und die meisten Forscher anzog, wird mit der Zeit sich ausleben und dann einer anderen weichen; jedenfalls haben kinetische und dynamische Perioden bis jetzt in der Wissenschaft immer gewechselt. Absolute Ausschliesslichkeit kann man keiner der drei Fundamentalanschauungen zuerkennen; aber eine grössere oder geringere Zweckmässigkeit muss wohl in verschiedenen Perioden der einen oder der anderen zugestanden werden und die Art ihres erkenntnisstheoretischen Abschlusses ist jedenfalls eine verschiedene, eine anschaulich sichere oder eine deutlich problematische.

Das anschaulichste und nächstliegendste der drei erwähnten Systeme ist ohne Zweifel das kinetische, mit ihm hat wohl alle Naturerklärung, wie wir das bei der Theorie der Elektricität constatiren konnten, begonnen. Wo ein lebloser Körper sich in Bewegung zeigt, da sucht man zuerst nach einem anderen, der ihn durch seine Bewegung direct antreibt. Die natürlichste Erklärung einer Bewegung ist die Ableitung derselben aus dem Stosse eines anderen Körpers. Sie ist auch nicht bloss die anschaulichste, sondern auch die befriedigendste, diejenige, die das Causalbedürfniss am besten abschliesst, weil sie die Ursache unseren Sinnen noch direct zugänglich aufzeigt. Daher steht diese Erklärungsart auch nicht bloss am Anfange der Wissenschaft, sondern muss von Zeit zu Zeit immer dann wiederkehren, wenn die Erforschung der Erscheinungen und ihrer Gesetze bis zu einem gewissen Grade vorgeschritten und das Causalitätsbedürfniss bis zu einem gewissen Grade gesteigert ist. Auf elektrischem Gebiete scheint ein solcher Zeitpunkt eben in unserer Zeit eingetreten zu

sein, und der Erfolg der kinetischen Methoden an dieser Stelle treibt dazu an, diese Methoden auf alle Gebiete zu übertragen. Es ist in dieser Beziehung sehr bezeichnend, dass unser so vorsichtig und sicher vorschreitender grosser Elektriker HEINRICH HERTZ noch am Ende seines kurzen Lebens die Mechanik als die Grundlage der gesammten Physik in ihren Fundamenten kritisch untersuchte und schliesslich eine kinetische Darstellung derselben in grossartigster Weise unternahm.[1]) Wir müssen auf diesen Versuch, auf sein letztes, erst nach seinem Tode von PH. LENARD herausgegebenes Werk, noch etwas näher eingehen.

Der letzte Zusammenhang der Körper wie ihrer letzten Theile wird darin origineller weise weder durch Kräfte noch durch Bewegungen erklärt, sondern auf die Weise vorausgesetzt, dass HERTZ seine Mechanik nicht mit Punkten, sondern gleich mit materiellen Systemen beginnt, die er durch die Coordinaten der Theile fixirt denkt, auf deren Existenzbedingungen er aber nicht weiter eingeht. Bei der Bewegung dieser Systeme entwickeln sich aus dem starren Zusammenhang derselben die inneren Kräfte naturgemäss.[2]) Auch die Kräfte, welche zwischen den Körpersystemen selbst wirken, leitet HERTZ auf die gleiche Weise ab, indem er nämlich zwischen solchen Systemen, die durch Kräfte verbunden sind, eine Koppelung, das ist abermals einen starren Zusammenhang hypothesirt, den er ebenfalls nur mathematisch bestimmt. Dabei kommt er freilich in einen Conflict mit dem für die Kinetik immer schwierigen Begriff der Elasticität der Materie, der der vollständigen Starrheit der Körpersysteme widerspricht. HERTZ hilft sich dadurch, dass er annimmt, der starre Zusammenhang, wie ihn seine mathematischen Formeln darstellen, möge wohl in der Natur nicht in absoluter Weise durchgeführt sein, wie man überhaupt in den Naturverhältnissen nie mathematische Strenge, sondern immer nur eine Annäherung an dieselbe auffinden könne, und so möge auch der natürliche, starre Zusammenhang der materiellen Systeme immer noch elastische Schwankungen der Glieder erlauben. Doch scheint das auch auf nichts weiter als auf das Bekenntniss hinauslaufen, dass die Starrheit der Systeme nicht der physikalisch letzte Erklärungsgrund des körperlichen Zusammenhangs sein kann, und dass der elastische Zusammenhang der Materie eine letzte Ursache fordert, die ausser Bereich unserer physikalischen Kenntnisse liegt und die wir darum nicht anders, als mit dem

[1]) Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt von HEINRICH HERTZ. Mit einem Vorworte von H. v. HELMHOLTZ. Leipzig 1894.

[2]) HERTZ nimmt also nicht blos die Atome, sondern die ganzen Körper und ihre Theile als ursprünglich starr an.

Namen Kraft bezeichnen können. Die Annahme eines starren Zusammenhangs als Axiom der Mechanik birgt auch nach anderen Seiten hin noch sehr bedeutende Schwierigkeiten in sich. Die Kinetik ist gezwungen die Bewegung, welche für sie eine physikalisch letzte Ursache ist, als absolut beharrend und in einfachen Theilen unveränderlich anzunehmen und muss darum als erstes Axiom aller Wissenschaft das Beharrungsgesetz fordern. Dieses Gesetz aber kann bei HERTZ nicht in seiner einfachsten und wahren Form, in welcher es nichts anderes als die absolute Unveränderlichkeit der freien Bewegung bedeutet, auftreten, weil es bei ihm keine freien Bewegungen einfacher Theile giebt, sondern weil bei ihm die Bewegungen der einzelnen Glieder der materiellen Systeme immerwährend durch den Zusammenhang des Systems in der Freiheit ihrer Bewegungen beschränkt werden. HERTZ muss darum statt des freien Beharrungsgesetzes ein beschränktes annehmen, das er als Axiom in der Form ausspricht: „Jedes freie System beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in einer geradesten Bahn." („Systema omne liberum perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directissimam.") Durch diesen Begriff der geradesten Bewegung ist aber das Gesetz, wenigstens mathematisch, so complicirt, dass man dasselbe doch kaum als ein kinetisches Axiom mehr ansehen kann, und in der That ist es ja auch im Grunde genommen nichts weiter als das MAUPERTUIS'sche Princip der kleinsten Wirkung oder das GAUSS'sches Princip des kleinsten Zwanges, die nur hier auf die allgemeinste Form gebracht sind. [1])

Im Uebrigen wird unleugbar durch die Verwendung dieses Gesetzes die kinetische Beschreibung der Erscheinungen, die sonst der dynamischen gegenüber durch die Complication der vielfältigen Bewegungen sehr im Nachtheil war, eine stark vereinfachte und darum fasslichere. Solche Vereinfachungen sind in neuerer Zeit vielfach auch dadurch erreicht worden, dass man die Bewegungen in Gruppen oder Systeme zu bringen

---

[1]) HERTZ' Mechanik zeigt mehrfach einen engen Zusammenhang mit den Ideen von HELMHOLTZ, der ja auch das Werk seines grössten Schülers mit einer Vorrede versehen hat. HELMHOLTZ sagt schon 1886 in einer Abhandlung „über die physikalische Bedeutung des Princips der kleinsten Wirkung" (Journ. f. reine u. angewandte Mathematik, 100. Bd., S. 137—166 u. 213—222; Wissenschaftliche Abhandlungen, III. Bd., S. 203—248), nachdem er betont hat, dass bis dahin dieses Princip nur auf die Mechanik wägbarer Körper angewandt worden sei: „Daraus ergiebt sich schon jetzt, dass der Gültigkeitsbereich des Princips der kleinsten Wirkung über die Grenzen der Mechanik wägbarer Körper hinausgewachsen ist, und dass MAUPERTUIS' hochgespannte Hoffnungen von seiner absoluten Gültigkeit sich ihrer Erfüllung zu nähern scheinen" (S. 142).

vermocht hat, welche sich wie besondere Einheiten nach einfachen Schemata behandeln lassen. Auch Hertz macht von diesem Vortheil in seiner Mechanik ausgiebigen Gebrauch: Besonders wichtig ist in dieser Beziehung die von Helmholtz im Jahre 1884 eingeführte Theorie der cyklischen Bewegungen oder der cyklischen Systeme geworden. Cyklisch heissen nämlich solche Bewegungen, bei denen an jeder Stelle für jedes seinen Ort verlassende Theilchen nach verschwindend kleiner Zeit ein vollkommen gleich beschaffenes Theilchen eintritt, welches mit derselben Geschwindigkeit nach derselben Richtung bewegt ist, wie das vorher an seiner Stelle gewesene.[1]) Solche cyklische Systeme sind beispielsweise homogene Kreisscheiben, Walzen, Kugeln u. s. w., die sich um passende Achsen drehen. Ihnen ähnlich in der Behandlung sind unechte Cyklen, bei dem die Configuration nicht in jedem Augenblicke, sondern erst nach bestimmten, endlichen Perioden immer wieder die gleiche wird. Solche unechte Cyklen, für welche rotirende Speichenräder ein einfaches Beispiel bieten, treten sehr häufig in der Natur auf und jeder homogene Körper, der mit gleichbleibender Geschwindigkeit um eine Achse rotirt, kann als ein unechtes cyklisches System angesehen werden. Von cyklischen Bewegungen hat auch die moderne Elektricitätslehre den ausgedehntesten und vortheilhaftesten Gebrauch gemacht und die Maxwell'sche Theorie der elektromagnetischen Rotations- und Wirbelbewegungen beruht ganz auf der Vorstellung von vielfältig aneinander gekoppelten Cyklen. In der That erweisen sich cyklische Bewegungen ganz besonders geeignet die Wechselwirkungen und ihre Vermittlung zwischen entfernten Körpern anschaulich zu erklären, die wir bis jetzt als Wirkungen von primitiven Kräften vorzustellen gewohnt waren. Da die Cyklen keine Configurationsveränderungen der materiellen Systeme durch ihre Bewegungen erzeugen, aber trotzdem durch diese letzteren nach aussen wirken und diese Wirkungen durch passende Kopplungen auch in die Ferne verbreiten können, so leisten sie thatsächlich dasselbe, was sonst die primitiven Kräfte leisteten, und auch Hertz gebraucht sie vor allem in dieser Beziehung.

Freilich ist auch bei den cyklischen Bewegungen mit der starken eine schwache Seite verbunden. Die gekoppelten Cyklen haben vor der Kraft den Vorteil voraus, dass sie die Wechselwirkungen der Körper auch in den Zwischenmaschinerien anschaulich darstellen, während die Kraft uns darüber vollständig im Dunkeln lässt. Dafür haben die Cyklen mit der Kraft auch den Nachtheil gemeinsam, dass sie, in absoluter

[1]) Vgl. H. Ebert, Magnetische Kraftfelder, I. Theil, S. 126.

Strenge verstanden, den Sinnen ebensowenig zugänglich sind wie jene. Echte Cyklen, wie z. B. cyklische Bewegungen von homogenen Flüssigkeiten in geschlossenen Gefässen, sind mit unseren Sinnen ebensowenig direkt zu erfassen wie die unbekannten Ursachen, die wir Kräfte nennen. Nun bleibt zwar immer die Hoffnung, dass Störungen, wie sie etwa durch Eindringen fremder Materien in die Cyklen entstehen, uns diese bemerkbar machen könnten; aber gerade bei der hier beabsichtigten Benutzung der Cyklen für die Erklärung der unsichtbaren Fortpflanzung von Kraftwirkungen ist es nothwendig anzunehmen, dass die Abweichungen von der echt cyklischen Bewegung immer so klein bleiben, dass sie der directen Wahrnehmung bei dem jeweiligen Stande der Kenntnisse sich noch entziehen. Dann aber wird wieder die Frage brennend, welches unsichtbare Substrat man diesen koppelnden Bewegungen unterlegen und aus welcher Materie man die Cyklen formen soll.

Hertz hilft sich an diesem Punkte damit, dass er in solchen Systemen, deren Bewegungen sich nicht vollständig aus den Bewegungen aller sichtbaren Massen bestimmen lassen, verborgene Massen und Bewegungen annimmt[1]), durch welche jene sichtbaren Bewegungen bedingt sein sollen. Solche verborgenen Materien hat man allerdings als Imponderabilien, Aether u. s. w. schon immer benutzt, um daran die Kräfte zu heften, aber die Hertz'sche Vorstellung hat dabei den Vortheil, dass sie den verborgenen Massen dieselben Eigenschaften wie den sichtbaren zuschreiben und alle Unterscheidungen auf Bewegungen zurückführen darf, während die dynamische Physik ihre verschiedenen Kräfte auch an verschiedene Materien binden musste.

Blicken wir noch einmal von hier zurück. Wir fanden einen Rest von Verborgenem in jeder Naturerscheinung und eine letzte Ursache stand am Ende jeder Folge von Naturerscheinungen, aber nicht innerhalb, sondern ausserhalb unserer Naturerkenntniss. Innerhalb dieser giebt es in der Reihe der Ursachen nur die bekannte Bewegung oder die noch unbekannte Ursache, die wir Kraft nennen, und die ebenfalls einer Auflösung in erfahr-

---

[1]) Helmholtz beschäftigt sich in dem erwähnten Aufsatze „über die physikalische Bedeutung des Princips der kleinsten Wirkung" (Journ. f. reine u. angew. Math., 100. Bd., 1886, S. 147) ebenfalls schon mit verborgenen Bewegungen. Er sagt da: „Dieser in der Mechanik der wägbaren Körper gegebenen Analogie gemäss wollen wir einstweilen auch andere Fälle physikalischer Vorgänge, in denen die Function H (Hamiltons' principal function) Glieder, die nach den Geschwindigkeiten linear sind, enthält, als Fälle mit verborgener Bewegung bezeichnen, wenn auch zur Zeit noch viele dazu gehören, wo die Existenz einer solchen verborgenen Bewegung nicht zweifellos nachzuweisen ist, wie bei der Wechselwirkung zwischen Magneten und elektrischen Strömen."

bare Bewegung zustrebt. Wo man zur Zeit in der Reihe der Ursachen Halt machen will, das hängt ausser von den Anlagen und Neigungen der Einzelnen, vor allem von dem Stand der wissenschaftlichen Entwicklung ab. Ist die Erkenntniss neu entdeckter Thatsachen noch nicht weit vorgeschritten, hat man noch mit den Mühen der Wiederholung und der thatsächlichen Feststellung zu thun, so wird das Interesse an der Erkenntniss der weiter zurückliegenden Ursache noch ein sehr geringes und die dynamische oder vielleicht in Zukunft auch die energetische Anschauung wird auf dem Gebiete herrschend sein. Sind aber jene Arbeiten vollständig erledigt, ist das Thatsächliche vollkommen erkannt und sind die Gesetze der Erscheinungen vollkommen festgestellt, so wird man auch die beobachteten Wechselwirkungen durch vermittelnde Bewegungen zu begreifen suchen und die Kinetik wird in ihre Rechte treten, um später abermals der Dynamik den Platz zu räumen.

Der Streit zwischen Dynamik und Kinetik war immer eine Machtfrage und wird es auch bleiben. Wo die Kinetik erfolgreich aufzutreten vermag, wie jetzt in der Elektricitätslehre, da wird sie die Dynamik unwiderstehlich zurücktreiben. Wo aber das noch nicht der Fall ist, da wird auch die letztere, wie in der Gravitationsmechanik, ihren Platz noch behaupten, ohne dass man deswegen einen unausgleichbaren Riss in der wissenschaftlichen Erkenntniss zu constatiren brauchte. Dynamik und Kinetik sind mit der Wissenschaft entstanden und entweder auch mit ihr weiter bestehen. Möglich ist als bedingte Wissenschaft auch die Energetik, denn wo Bewegung und Kraft sind, da ist auch Energie. Ob aber diese aus sich allein alle Probleme der sich ergänzenden andern Systeme lösen kann, das muss die Erfahrung erst noch lehren.

An ihren Früchten sollt ihr sie erkennen, das gilt bis zu einem gewissen Grade auch für wissenschaftliche Theorien und es scheinen alle Zeichen dafür zu sprechen, dass man von diesem Grundsatz jetzt noch mehr als früher auch neuen wissenschaftlichen Ideen gegenüber Gebrauch machen will. Es giebt allerdings nur eine Wahrheit, ein Ideal, dem wir nachstreben müssen; aber gar manche Wege führen nach diesem Ziele hin und keiner trägt das Zeichen alleiniger Echtheit an sich.

Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a. S.

